

Julian Fernando Ordoñez Duran

**MÉTODO PARA DETERMINAR A ENERGIA DESCARTADA  
POR TRATAMENTO INADEQUADO DE UMA FAMÍLIA DE  
PRODUTOS DEVIDO Á OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA**

Dissertação submetida ao  
Programa de pós-graduação em  
Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia  
Mecânica  
Orientador Prof. Dr. João Carlos  
Espindola Ferreira.

Florianópolis  
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Duran , Julian Fernando

Método para determinar a energia descartada por  
tratamento inadequado de uma família de produtos devido à  
obsolescência programada / Julian Fernando Duran ;  
orientador, João Carlos Espindola Ferreira - Florianópolis,  
SC, 2014.

115 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Engenharia . 3. Energia  
embutida. 4. Cradle to grave . I. Espindola Ferreira, João  
Carlos. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Julian Fernando Ordoñez Duran

MÉTODO PARA DETERMINAR A ENERGIA DESCARTADA POR  
TRATAMENTO INADEQUADO DE UMA FAMÍLIA DE  
PRODUTOS DEVIDO À OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA

Esta Dissertação foi julgada para obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia Mecânica e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Engenharia Mecânica

Florianópolis 18 de Abril de 2014

---

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr. Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D.  
Orientador

**Banca Examinadora**

---

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira, Dr. Eng.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

---

Prof. Nilson Luiz Maziero, Dr. Eng.  
Universidade de Passo Fundo



Al extraño aquel que comparte  
mi locura y abre este libro con  
la intención de disfrutarlo y  
viajar conmigo



## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Catarina

Ao Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica

Ao Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph. D.

A Família e amigos que apoiaram esta experiência maravilhosa

Ao inverno, melhor amigo da inspiração e a disciplina para escrever.





## RESUMO

A obsolescência programada é um conceito que se popularizou depois da segunda guerra mundial, quando as empresas de manufatura tinham terminado de reconstruir os lares destruídos durante a guerra. As fábricas estavam prontas para vender, mas os níveis de vendas estavam diminuindo cada vez mais. A resposta dos economistas foi à diminuição da vida útil do produto, para acelerar sua substituição. Este conceito, ainda presente, faz com que produtos sejam frequentemente descartados nos aterros antes de terem alcançado seu potencial de vida útil, ou quando ocorre a quebra de apenas uma das suas peças. Além da contaminação nos aterros, deve-se considerar a energia consumida na extração, transporte e manufatura do produto, assim como sua energia embutida, a qual será distribuída no tempo projetado de vida. Mas, quando o produto é descartado prematuramente (isto é, antes do tempo de vida útil) e substituído, com o lançamento do produto substituto, ocorre o consumo de energia referente a este. A energia resultante do tempo entre o descarte prematuro do produto e o descarte devido ao fim da vida útil deste mesmo produto, considerando o consumo de energia do novo produto dentro deste intervalo, é denominada neste trabalho de "energia descartada". Esta dissertação pretende analisar a quantidade de energia descartada como sendo uma das características de um produto e como critério na tomada de direções nas futuras modificações. Este método compara o tempo de vida dos módulos que compõem o produto, que é igual ao menor dos seguintes tempos: (a) tempo em que o módulo deixa de funcionar e não pode ser substituído, ou (b) tempo em que ele é substituído, mas o investimento de energia para efetuar a troca é tão alto que não compensa a substituição. O tempo de vida do produto será usado em um primeiro coeficiente denominado energia embutida anualizada. Mediante a definição desse coeficiente e da informação das listas de materiais de uma família de produtos, define-se um perfil energético para uma família de produtos utilizando ferramentas do tipo LCA (*Life Cycle Assessment* - Avaliação do Ciclo de Vida) e Eco auditoria. Analisando a utilização de um produto em diferentes fases da sua vida, pode-se proporcionar uma extensão no tempo de uso potencial do produto e, comparativamente, a energia economizada pelo uso adequado será superior à quantidade de energia potencialmente recuperável na reciclagem dos componentes, ou o potencial exegético, no caso de geração de energia por incineração. A família de produtos escolhida para aplicar o método proposto nesta dissertação foi a de

*smartphones*, dada sua curta expectativa de vida útil, assim como seu alto conteúdo energético, a variedade de processos requeridos, além da necessidade de peças adquiridas de fornecedores. O método proposto foi simulado mediante um protótipo computacional que permite uma análise da energia incorporada considerando os diferentes *mix* energéticos de vários países, análise individual de materiais, tipos de transporte utilizados, bem como diferentes processos. O protótipo desenvolvido também apresenta gráficos para dar suporte à escolha de melhorias, além de um comparativo das energias recuperáveis do produto.

**Palavras chave:** Manufatura Sustentável. Energia Descartada. Fim de Vida de Produtos. Avaliação do Ciclo de Vida. Reciclagem.

## ABSTRACT

Programmed obsolescence is a concept that has become very popular, especially after World War II, when manufacturing companies had finished the reconstruction of homes that had been destroyed during the war. The factories were ready to sell but the consumption level was constantly decreasing. Economists answered to this by lowering the time of use in order to quicken the substitution. This concept, still present today, is the reason why products are frequently disposed in landfills before they have reached their potential time of use, or when a component of the products breaks before the whole product, apart from the contamination in landfills, the energy invested in the extraction, transport and manufactory of the product, as the embodied energy, which will be distributed along the designed time of use. However, when the product is discarded prematurely (this is, before the time of use) and substituted, with the launch of the substitute product, the consumption of energy relative to this occurs. The resulting energy between the premature discard due to the end of the time of use of this same product, considering the energy consumption of the new product in this gap, is termed disposed energy. This dissertation intends to analyze the quantity of energy disposed as one of the properties of a product and as a criteria in the decision-making of future modifications. This method compares the time of use of the modules that constitute the product, which is equal to the smallest of the following times: (a) time in which the module does not work and cannot be replaced, or (b) time in which it is replaced, but the energy investment to execute this exchange is so high, that it does not make up for the substitution. The product's lifespan will be used in a first coefficient denominated embodied energy density. Joining the definition of this coefficient and the information of the lists of materials of a family of product, it is possible to define an energetic profile for a family of products by using tools such as LCA (life cycle assessment) and eco-auditing. Analyzing the use of a product in different phases of its life, one can achieve an extension in the time of potential use of the product, and, comparatively, the energy saved by the appropriate use will be higher than the quantity of energy potentially recoverable by the recycling of the component, or the exoenergetics potential, in the case of energy generation by incineration. The family of products chosen to whom this method will be applied in this dissertation was the Smartphone family due to its short time use expectation, as well as its high energy content, the variety of required processes and the necessity of acquiring elements from providers. The

proposed method was simulated by a computational prototype that allows an analysis of the embodied energy considering the different energetic *mixes* of many countries, the individual analysis of material, type of transport used, as well as different processes. The prototype developed also present graphical features to support the choice the improvements as well as a comparative of the recoverable energies of the product.

**Keywords:** Sustainable Manufacturing. Discarded Energy. Product's End Of Life. Life Cycle Assessment. Recycling.

## LISTA DE TABELA

Tabela 2.1 Energia e CO <sub>2</sub> investidos na mineração para obtenção de 1 kg de metal.....	33
Tabela 2.2 Energia consumida no processo de materiais metálicos .....	34
Tabela 2.3 Energia de mineração na obtenção de 1 kg de polímero .....	34
Tabela 2.4 Cálculo da energia consumida na injeção de peças plásticas. ...	35
Tabela 2.5 Conteúdo energético na manufatura de alguns componentes eletrônicos .....	36
Tabela 2.6 Cálculo do conteúdo energético na manufatura de uma peça....	38
Tabela 2.7 Energia correspondente à mão de obra segundo a carga. ....	39
Tabela 2.8 Energia consumida no transporte .....	40
Tabela 2.9 Resultados obtidos da metodologia de Ashby (2009) para o cálculo dos subsistemas de um secador de cabelo .....	43
Tabela 2.10 Zona de obsolescência e o tempo de intervalo estimado .....	48
Tabela 3.1 Condições iniciais do caso da chaleira .....	72
Tabela 4.1 BOM comum resultante da comparação da família de produtos. ....	83
Tabela 4.2 Valores do dado de eco auditoria. ....	91
Tabela 4.3 Tempo de obsolescência por módulos.....	92
Tabela 5.1. EEA por módulos numerados no mes 43 de uso .....	97



## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.1- Procedimento metodológico .....	27
Figura 2.1 Delimitação do sistema <i>Cradle to Grave</i> .....	32
Figura 2.2 Resultados obtidos da metodologia de Ashby (2009) para o cálculo dos subsistemas para um secador de cabelo .....	43
Figura 2.3. Exemplo de lista de materiais (BOM). ....	45
Figura 2.4 Bateria de telefone não substituível. ....	50
Figura 2.5 Comparativo de características de diferentes baterias .....	51
Figura 2.6 Resultados energia embutida EBM <i>research group</i> MIT .....	54
Figura 3.1 Leiaute janela 1: Energia embutida.....	59
Figura 3.2 Leiaute janela 2: Processos .....	62
Figura 3.3 Detalhe janela processos, seção peças terceirizadas .....	63
Figura 3.4 Leiaute janela: consumo .....	64
Figura 3.5 Resumo da energia total (MJ) .....	66
Figura 3.6 Resumo da energia total, sem considerar o consumo. (MJ) .....	66
Figura 3.7 Energia descartada por tratamento inadequado .....	68
Figura 3.8 EDOP corrigida pelo fator anualização. ....	70
Figura 3.9 Energia embutida anualizada em diferentes estágios da vida útil do produto .....	71
Figura 3.10 Condições iniciais do caso da chaleira.....	73
Figura 3.11 Energia coexistente no tempo redundante, dado descarte antecipado. ....	75
Figura 4.1 BOM Iphone 4 .....	80
Figura 4.2 Módulo PWB Apple .....	85
Figura 4.3 Módulos display ZTE, Nokia, Apple .....	86
Figura 4.4 Baterias Li-ion .....	87
Figura 4.5 Exemplo módulo carregador.....	88
Figura 4.6 Motor elétrico e câmeras principal e secundária.....	88
Figura 4.7 Exemplos dos módulos mecânica Apple e genérico. ....	89
Figura 4.8 Dados eco auditoria .....	91
Figura 5.1 Tempo zero de utilização do produto.....	95
Figura 5.2 Tempo de utilização do produto: dois anos .....	96
Figura 5.3 Valores da EEA por módulos para o mês 43 .....	98
Figura 5.4 .Soma dos EEA por módulos no mês 43.....	98

Figura 5.5 Comparativo do potencial energético para os quatro estágios de tempo de uso .....	100
--	-----



## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BOM	Bill of materials
GaBi	<i>Ganzheitliche Bilanzierung</i> (balanceamento holístico)
IEC	Comissão Eletrotécnico Internacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCA	Avaliação do Ciclo de Vida
PWB	<i>Printed Wiring Board</i>
LVDS	<i>low-voltage differential signaling</i>
SEC	<i>Specific Energy Consumption</i>
SEDOP	Simulador de energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada.
4R	Reciclagem, reuso, repotenciação, redução
SEDOP	Simulador de energia descartada por obsolescência programada
GWP	<i>Global Warming Potential.</i>



## LISTA DE SÍMBOLOS

$T^1$	Transporte primário
$T^2$	Transporte secundário
$\sigma$	Desvio padrão do pico do tempo de venda
$\rho$	Data no momento do calculo
$\mu$	tempo do pico de vendas na curva
$\epsilon_o$	Energia de obtenção
$\epsilon_M$	Energia de manufatura
$\epsilon_T$	Energia total.
TOR	Tempo de obsolescência
TOP	Tempo de obsolescência programada
TD	Tempo desperdiçado
K	Folga de tempo desperdiçado
$\alpha$	Define o número de aparelhos manufaturados onde foi descartado um pacote completo de energia correspondente a um aparelho completo.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	24
1.2. OBJETIVOS .....	25
1.2.1. <i>Objetivo Geral:</i> .....	25
1.2.2. <i>Objetivos Específicos:</i> .....	25
1.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	25
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1. ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) .....	29
2.2. ISO 14040 .....	29
2.3. LCA (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA) .....	30
2.3.1. <i>Cradle to grave (do berço ao túmulo)</i> .....	31
2.3.2. <i>Energia Embutida (Cradle to Gate)</i> .....	32
2.3.3. <i>Metais</i> .....	32
2.3.4. <i>Plásticos</i> .....	34
2.3.5. <i>Semicondutores</i> .....	35
2.4. ECO AUDITORIA .....	37
2.4.1. <i>Gate to Gate (do portão ao portão)</i> .....	37
2.4.2. <i>Terceirização</i> .....	38
2.4.3. <i>Transporte</i> .....	40
2.4.4. <i>Uso</i> .....	41
2.4.5. <i>Descarte</i> .....	41
2.4.6. <i>Dado de eco auditoria</i> .....	42
2.5. <i>BILL OF MATERIALS (BOM)</i> .....	44
2.6. VIDA DO PRODUTO .....	46
2.7. OBSOLESCÊNCIA .....	46
2.8. OBSOLESCÊNCIA FÍSICA DE PRODUTOS ELETRÔNICOS 50	
2.8.1. <i>PWB e Motherboards</i> .....	50
2.8.2. <i>Baterias</i> .....	51
2.9. SMARTPHONE .....	52

<b>3. SIMULADOR PARA CÁLCULO DE ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA (SEDOP-GRIMA) .....</b>	<b>57</b>
3.1. ENERGIA EMBUTIDA .....	58
3.2. PROCESSOS .....	60
3.3. CONSUMO .....	63
3.4. RESULTADOS .....	65
3.5. ENERGIA DESCARTADA POR TRATAMENTO INADEQUADO.....	67
3.6. DADOS OBTIDOS NO PROGRAMA SEDOP.....	71
<b>4. MÉTODO PARA CALCULAR A ENERGIA DESCARTADA POR USO INADEQUADO DEVIDO À OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA .....</b>	<b>77</b>
4.1. ESCOLHA DA FAMÍLIA DE PRODUTOS .....	77
4.2. PRODUTOS ESCOLHIDOS PARA COMPOR A FAMÍLIA...	78
4.3. ATRIBUTOS PRIMÁRIOS .....	78
4.4. LISTA DE MATERIAIS COMUNS.....	79
4.5. CÁLCULOS DA ENERGIA POR MÓDULO .....	84
4.6. MONTAGEM.....	89
4.8. TOTAL DE ENERGIA .....	90
4.7. TEMPO DE VIDA POR MÓDULOS .....	92
<b>5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
5.1. ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA.....	95
5.2. ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA NÃO FÍSICA .....	99
<b>6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>103</b>
6.1. CONCLUSÕES .....	103
6.2. TRABALHOS FUTUROS .....	105
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>111</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial e a invenção da linha de produção em massa criou um novo mundo. A participação do homem na manufatura, cada vez mais como cérebro e menos como mão de obra, e as necessidades de aumentar os níveis de consumo, tem guiado os novos métodos de design, manufatura, marketing e descarte de materiais dos séculos XX e XXI. Nos tempos atuais, quando o sucesso dos países está relacionado ao crescimento anual, conceitualmente isso quer dizer que, os níveis de consumo deverão crescer mesmo que não consideremos a taxa de crescimento demográfico.

Os níveis de consumo registrados atualmente podem ser comparados com os consumos do pós-guerra (I, II) (Bonahom, 2012) (Palmer, 1999), e somente se pode entender isso como efeito de estratégias propostas ao mercado e independentes da sustentabilidade ou da capacidade de renovação da terra. Há apenas alguns anos se começou a perceber que os recursos da terra são limitados e que se está produzindo acima da capacidade de recuperação dela (Palmer, 1999). Mesmo assim, muitas são as políticas comerciais que ainda focam seus sistemas de produção no modelo econômico de crescimento.

Afortunadamente, a era da informação, apesar de trazer problemas de contaminação e superprodução, traz também uma geração de pessoas com acesso à troca de dados em nível global e a preocupação com o meio ambiente. Essas mesmas pessoas foram as que desenvolveram conceitos tais como o perigo e as consequências da obsolescência programada, e pesquisaram metodologias novas, como os cálculos de energia envolvida na mineração e manufatura que serão estudadas nesta dissertação.

Dependendo do escopo do estudo, muitas variáveis têm sido definidas para explicar como um produto é contaminante: pegada de carbono, energia embutida, quantidade de água investida, GWP (*Global Warming Potential*), etc. Porém, algumas delas são divergentes, e não consideram os mesmos fatores. A variável definida nesta dissertação faz uma análise da importância do tempo de uso como um fator determinante no cálculo da sustentabilidade do produto, ao comparar a energia descartada inapropriadamente com outros tipos de energia aproveitáveis contidos no produto, mostrando como, além da recuperação, reciclagem, reuso ou o aproveitamento dos materiais

considerando o máximo trabalho teórico que pode ser obtido termodinamicamente (que é chamado de exergia), o uso apropriado, pode-se proporcionar um maior benefício para o meio ambiente.

Neste trabalho também será revisado o contexto social das implicações decorrentes do aumento da faixa de tempo de durabilidade dos produtos.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

*“instigando no comprador o desejo de possuir algo, um pouco mais novo, um pouco melhor, um pouco antes do necessário.”* (Adamson, 2005)

Palavras muito significantes do designer norte-americano Brook Stevens na década de 1950, quando se estava analisando o projeto econômico proposto para o ocidente após a segunda guerra mundial. A guerra tinha acabado e o reabastecimento dos lares tinha se estabilizado. Os sistemas de produção estavam trabalhando abaixo de suas capacidades, e a possibilidade de uma nova queda econômica ameaçava o ocidente. Porém, esse conceito já tinha sido criado e proposto por Bernard London, um economista dos anos 1930, em que a obsolescência programada foi apontada como a solução para sair da depressão econômica (London, 1932). No projeto original, a ideia era que a obsolescência programada fosse obrigatória, de modo que todos os produtos tivessem data de validade e fosse obrigatório o descarte.

Atualmente, os *“long life products”* já não são feitos, e são substituídos por outros, que são projetados e desenhados para ter uma faixa de obsolescência que satisfaça o consumidor durante o funcionamento do produto, e garantindo a procura pela mesma marca ou empresa no momento de novas aquisições. Então, o que acontece com aqueles produtos quando ocorre a quebra de uma peça projetada desse modo? Provavelmente será descartada para ser substituída por outro produto de características iguais ou superiores. Até agora, a maioria dos trabalhos escritos sobre o tema se focam apenas nos materiais e resíduos que são rejeitados e poluem os aterros, ou, em características fixas que outorgam um valor não mutável ao produto ou material, de acordo com o investimento realizado na sua geração. Esta dissertação avalia uma variável mediante a utilização das metodologias de ecoauditoria: é calculada a quantidade de energia consumida na obtenção e na manufatura dos materiais de uma família de produtos, e quantifica a



energia que será descartada antecipadamente, uma vez que, finalmente, são também descartadas quando o produto termina sua vida útil, devido à obsolescência programada de uma das suas peças.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, são considerados outros fatores como a relação tecnologia, economia, sociedade, dado que não se pode ignorar a importância da produção em massa na economia atual, tendo em conta os empregos gerados, os impostos pagos ao governo e as famílias que dependem do consumo alheio para o sustento.

A definição do “*trade-off*” de menor impacto (produção, consumo e sustentabilidade) é uma tarefa complexa, mas é um começo na tentativa de quantificar os ganhos e as perdas geradas pela obsolescência programada.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral:

Este trabalho tem como objetivo geral definir e utilizar a variável energia descartada por tratamento inadequado de uma família de produtos, tendo em vista a obsolescência programada.

### 1.2.2 Objetivos Específicos:

- a) Quantificar a energia descartada para uma família de produtos devido à obsolescência programada.
- b) Gerar um programa computacional que facilite o cálculo da energia embutida e eco auditoria.
- c) Determinar fatores de variação para melhoras na projeção dos produtos.
- d) Calcular o tempo de uso do produto, quando o potencial energético embutido atinge o valor de zero.
- e) Estabelecer dois estágios de descarte energético: o primeiro, quando o lifespan projetado é alcançado e o segundo quando o momento energético é definido pela energia embutida anualizada.

## 1.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

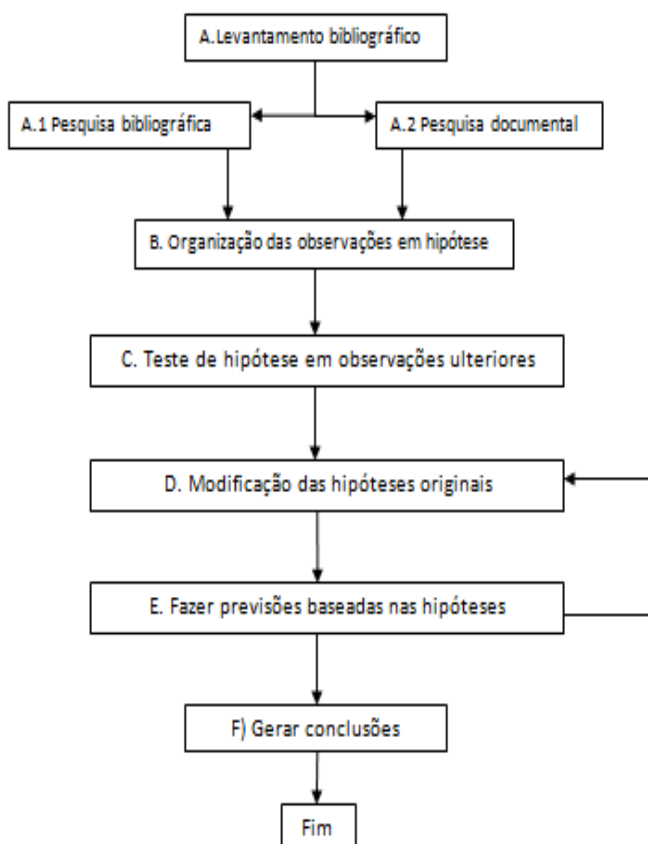
A abordagem e elaboração desta dissertação se correspondem com a metodologia classificada como dedutiva dialética. Segundo (Muskat, 2005) define-se como “método que pressupõe que somente a razão é capaz de levar ao conhecimento”. O raciocínio dedutivo tem como objetivo explicar o conteúdo das premissas mediante uma cadeia de raciocínio em ordem descendente e, da análise do geral para o particular, chegar a uma conclusão. Usa o silogismo, construção lógica para, a partir de duas premissas, retirar uma que pertença logicamente, decorrente das duas primeiras, denominada conclusão. Junto com a dialética hegeliana, na qual as contradições se transcendem, dando origem a novas contradições que passam a requerer solução. É um método de interpretação dinâmica e totalizante da realidade (LAKATOS & MARCONI, 1993)

A classificação dos objetivos (Muskat, 2005) permitiu definir que o objetivo geral se corresponde com o estágio cognitivo de síntese, e os específicos como de estágio de análise [D] síntese [A, B] e conhecimento [C].

Pode-se, então, definir as etapas de construção da dissertação do modo a seguir: (a) levantamento bibliográfico: que se divide em duas partes: pesquisa bibliográfica fundamentada em fontes bibliográficas, que são obras escritas, impressas em editoras, comercializadas em livrarias; e a segunda parte, pesquisa documental elaborada a partir de documentos contemporâneos ou retrospectivos considerados cientificamente autênticos; (b) organização das observações em hipótese: quanta energia está envolvida na manufatura de um aparelho da família da amostra definida para a dissertação, quanto tempo se projeta como vida útil na manufatura do produto, quanto é o tempo de vida (*lifespan*) artificial derivado da obsolescência programada; (c) teste de hipótese em observações anteriores: após implantar as hipóteses, será realizada uma comparação com a literatura existente com o fim de garantir que os resultados sejam congruentes, mas se forem diferentes possa-se chegar à raiz da discrepância; (d) modificação das hipóteses originais: posterior à análise, espera-se obter resultados analíticos que necessitem correções nas hipóteses iniciais; (e) fazer previsões baseadas nas hipóteses: espera-se definir a variável que satisfaça o objetivo geral da dissertação; (f) gerar conclusões: tendo alcançado o objetivo geral, verificam-se quais dos objetivos específicos foram alcançados, e para aqueles que ainda não foram alcançados repete-se os passos (d), (e) e (f), concluindo a análise socioeconômica, apresentam-se as contribuições do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros. O

fluxograma do procedimento metodológico pode ser observado na figura 1.

Figura. 1.1- Procedimento metodológico



Fonte: Elaborada pelo autor



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo se apresenta a revisão bibliográfica, baseada nos trabalhos acadêmicos pertinentes, que dão suporte à pesquisa desenvolvida.

### 2.1. ISO (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*)

Segundo a definição escrita na norma ISO 14040 (1997), a ISO se define como a organização internacional de padronização. É uma federação mundial de organizações de padronização nacionais (organizações membros da ISO). O trabalho de preparar padrões internacionais é normalmente executado através de comitês técnicos da ISO. Cada organização membro, interessado em um assunto, o qual o comitê técnico tem estabelecido, tem o direito de ser representado naquele comitê. Organizações internacionais, governamentais e não governamentais, em conjunto com a ISO também participam do trabalho. A ISO colabora rigorosamente com a comissão eletrotécnica internacional (IEC) em todos os assuntos de padronização eletrotécnica. O projeto de padronização internacional adotado pelos comitês técnicos é submetido aos membros organizacionais para votação. A publicação como um padrão internacional requer aprovação de pelo menos 75% dos membros organizacionais votantes. O padrão internacional ISO 14040 foi preparado pelo comitê técnico ISORC 207, ambiental/administração, subcomitê SC5, LCA.

### 2.2. ISO 14040

Esta norma define as metas e escopo do LCA (Avaliação do Ciclo de Vida) como: compilação e inventário das entradas e saídas de um sistema de produção (produto) avaliando o potencial impacto associado com essas entradas e saídas, interpretando os resultados das análises dos inventários e a avaliação das fases de impacto em relação aos objetivos do estudo.

O estudo do LCA deve: examinar os fluxos de material e energia na obtenção do material, preparação, manufatura, distribuição,

estocagem, uso, manutenção e opções de reparação e reciclagem, além do manejo de resíduos gerados (ISO, 1997).

### 2.3. LCA (Avaliação do Ciclo de Vida)

Todos os materiais possuem características próprias (físicas, químicas, elétricas) que definem o seu perfil de identidade, assim como as vantagens e desvantagens na utilização e uso na manufatura. Essas características marcam o tempo de vida útil do material ou da peça que ele origina. Podem ser identificados os diferentes estágios de sua vida útil, desde a sua obtenção na mina, passando pelo transporte primário para os lugares de adequação (caso seja preciso) ou diretamente para montagem, dependendo das condições requeridas no material e do escopo da empresa montadora. Isso é definido pela capacidade da fábrica de transformar matérias-primas em peças, valendo-se das máquinas disponíveis dentro do sistema, ou se será preciso o uso de fornecedores terceirizados. Neste caso, a compra da peça corresponde a um ciclo de vida próprio, onde a montadora entra no papel de consumidor. Depois de ter todos os componentes necessários para a montagem, o produto será manufaturado, e através do transporte secundário, chegará ao ponto de distribuição onde será adquirido pelo cliente, para entrar na fase de uso. Ao chegar ao final dessa fase, o produto será descartado. Este descarte pode ser feito de quatro modos diferentes, sendo eles incineração, aterro, reciclagem e reutilização.

A avaliação de ciclo de vida (LCA) delineia o progresso, documentando os recursos consumidos e as emissões efetuadas durante cada fase de vida, registrando onde os materiais estiveram, o que foi feito com eles e as consequências para o local onde eles estiverem presente.

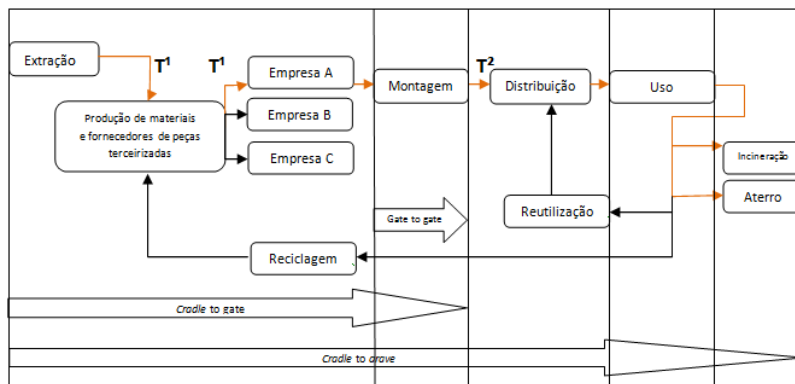
O escopo desta dissertação se foca na energia que vai se somando ao produto em cada estágio do ciclo de vida, até a fase posterior ao uso. Porém, um LCA completo considera todos os fluxos de emissões gerados ao longo da vida do produto (sólidos líquidos e gasosos). Uma das finalidades do LCA é tornar cíclico, que é o caso em que se busca prolongar a vida da maior quantidade de peças, de maneira que estas retornem à cadeia de produção mediante o uso dos quatro R's: reciclagem, reutilização, redução e repotenciação.

### 2.3.1. *Cradle to grave* (do berço ao túmulo)

O plano geral, chamado de LCA, pode ser redefinido por novos limites, gerando um novo sistema para conveniência e manejo da informação, sistema este que começa na extração do material e termina no descarte, mas se foca na energia e no CO<sub>2</sub> que se gera durante os estágios de vida do produto. Esse sistema é chamado de *Cradle to Grave*.

Na figura 2.1 observa-se que os subsistemas que compõem o *Cradle to Grave* formam um plano linear da extração ao descarte. Entretanto, as setas em contra fluxo (da direita para a esquerda) retornam as peças funcionais e materiais aproveitáveis ao sistema, evitando o descarte. Esse cenário mais desejável é denominado *Cradle to Cradle*. Primeiramente, sobre o *Cradle to Gate*, que consiste no subsistema que vai desde a mineração, transporte primário, preparação dos materiais para manufatura, antes de entrar na fábrica e as peças adquiridas de fornecedores. O segundo subsistema é denominado *Gate to Gate*, e limita as operações ao interior da montadora, processos, transportes internos, mão de obra, *buffers*, etc. O terceiro subsistema chama-se *Gate to Grave*, que se estende além da porta da fábrica, incluindo o consumo energético do produto, sua manutenção, e descarte final (que pode se considerar descarte no caso do *Cradle to Grave*) ou a tentativa de recuperar o maior número de peças e materiais em estado ainda utilizável para retornar à manufatura para a utilização em um novo produto (desejavelmente o mesmo produto, ou um que seja de maior idade e valor agregado que o original). Essa etapa final constitui a diferença entre o conceito *Cradle to Cradle* com o conceito anterior.

Figura 2.1 Delimitação do sistema *Cradle to Grave*



Fonte: Adaptado (Ashby, 2009) (Mentzer, 2011) (Donough, 2002)

### 2.3.2. Energia Embutida (*Cradle to Gate*)

Quando referente a um material, segundo (Gutowski 2010) a energia embutida é definida como a soma das energias de extração e manufatura requeridas para obter um quilograma de material usável (por exemplo, 1 kg de aço ou de PET pellets, ou de cimento em pó) medido em Megajoules (MJ). Em geral, a energia envolvida na produção do material é maior que a energia consumida na manufatura, porém neste trabalho serão consideradas algumas dessas exceções.

Quando se está avaliando um produto manufaturado, consideram-se as energias das seguintes etapas: extração de materiais (mineração), transportes, processamento para preparar o material para manufatura, manufatura, montagem e embalagem, tratamentos requeridos legalmente para manuseio de resíduos gerados no processo, e possivelmente a recuperação por reciclagem (Ashby, 2009).

### 2.3.3. Metais

As bases de dados obtidas para o desenvolvimento desta dissertação estão fundamentadas em pesquisa bibliográfica disponível em trabalhos acadêmicos como (Gutowski & Garetty, 2010) (Ashby, 2009), que expressam a quantidade de energia embutida na mineração dos materiais para obtenção de 1 kg de material pronto para uso e a



transformação secundária na manufatura. Estes reportam valores entre 17 MJ/Kg - 670 MJ/Kg (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 Energia e CO<sub>2</sub> investidos na mineração para obtenção de 1 kg de metal.

<i>Material</i>	<i>Massa (kg)</i>	<i>Energia</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>
Alumínio	1	220	12
Magnésio	1	375	23,6
Titânio	1	670	41
Cobre	1	71	5,25
Chumbo	1	55,5	3,5
Zinco	1	13,05	3,85
Níquel	1	133,5	8,35
Aço	1	32	2,5
Aço inoxidável	1	81	5,05
Ferro	1	17	1,05
Latão	1	72	2

Fonte: (Gutowski & Garetti, 2010)

Para obter o resultado da energia embutida por peça, é preciso somar a energia de processamento do material com a energia de mineração. Na tabela 2.2 são mostrados dados obtidos da literatura disponível (Gutowski, 2010). Considerando que os dados fornecidos são padrão e estão sujeitos à variação em estudos de caso, devido as variações nos processos e localização geográfica da empresa que realiza a operação.

Tabela 2.2 Energia consumida no processo de materiais metálicos

<i>Processo</i>	<i>Energia consumida MJ/kg de material</i>
Fresamento	1,3-2,6
Moagem	8,8
Fundição de ferro	19-29
Moldagem em areia	11,6-15,4
Forjamento	16,3
Jato de água (aço)	167-238

Fonte: Adaptado de (Gutowski & Garetti, 2010)

### 2.3.4. Plásticos

Na categoria composta por plásticos considera-se em um estágio inicial o refinamento das matérias-primas (hidrocarbonetos), o que, dependendo do tipo de plástico desejado, pode variar amplamente pelos processos químicos necessários (Tabela 2.3).

Para o processo de injeção são escolhidas máquinas do tipo hidráulico, híbrido ou eletrônico, e o impacto no consumo de energia ou SEC (*Specific Energy Consumption*) é substancial, entre 12,6 - 19 MJ/kg de material obtido. Além da energia de processamento da peça, precisam-se somar os valores energéticos correspondentes na obtenção e manufatura do plástico. Na tabela 2.4 pode-se observar o cálculo da energia embutida na produção por peça: no caso é: injetora 55 KW/h, gerando 40 peças por hora (*mix* energético australiano).

Tabela 2.3 Energia de mineração na obtenção de 1 kg de polímero

<i>Material</i>	<i>Massa kg</i>	<i>Energia</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>
ABS	1	96,5	3,45
Poliamida	1	128	5,5
Polipropileno	1	97,5	2,7
Polietileno	1	81	2,1
Polycarbonato	1	110	5,65
PET	1	83,8	2,33

<i>Material</i>	<i>Massa kg</i>	<i>Energia</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>
PVC	1	81,5	2,4
Poliestireno	1	92,5	2,85
Pla	1	53	2,37
Epoxis	1	117,5	4,39
Poliéster	1	88	2,85
Borracha	1	66	1,5
Elastômero (EVA)	1	91,25	3,035

Fonte: (Ashby, 2009)

Tabela 2.4 Cálculo da energia consumida na injeção de peças plásticas.

<i>Processo</i>	<i>Fornecimento E</i>	<i>Fornecimento MJ</i>	<i># Peças Hora</i>	<i>Energia/ Peça</i>
	kW/h	Austrália		
Injeção	55	10	40	13,75

Fonte (Ashby, 2009)

### 2.3.5. Semicondutores

Segundo Ciceri (2010), a categoria de semicondutores é uma exceção em relação aos outros tipos de materiais, dado que o investimento energético na obtenção dos materiais será menor do que o requerido no processamento, pois a sua manufatura pode conter até 400 passos. A variedade de métodos com as quais cada empresa pode levar ao final no desenvolvimento faz com que as fontes de dados não possam ser normalizadas com facilidade. Porém, a apresentação física e comercial do material *core*, no qual serão cortados os chips, é padronizada. Estes são discos de silício de uma pureza de 99,99%, polidos e tratados segundo os procedimentos e requerimentos da empresa fabricante para atingir as características funcionais do produto a ser manufaturado, denominados *wafers*.

Os estágios estabelecidos separam a fabricação nas seguintes categorias: (i) manufatura do *wafer*; (ii) nível de empacotamento dos *chips*; (iii) manufatura do PWB; (iv) manufatura (v) manufatura do display; (vi) montagem final.

A literatura sugere medir a energia embutida do material *core*, (Krishnan, 2008), calcular a área do material inserido no produto, e o tamanho do disco de *wafer* de procedência. O *wafer* de 200mm contém uma quantidade de energia (igual a 1,495 kWh/cm<sup>2</sup>), a qual é não linear comparando-se ao *wafer* de 300mm (1,07 kwh/cm<sup>2</sup>).

Seguindo o método proposto em *A tool to estimate materials and manufacturing energy for a product* (Gutowski & Garetti, 2010), apresentam-se na tabela 2.5 valores para calcular a energia consumida na manufatura de componentes eletrônicos.

Tabela 2.5 Conteúdo energético na manufatura de alguns componentes eletrônicos

<i>Manufatura do wafer / Empacotamento do chip</i>	
150 mm	9,7 kWh/g
200 mm	8,3-9,4 kWh/g
300 mm	4,6-5,2 kWh/g
<i>Manufatura do PWB</i>	
6 camadas kg/m <sup>2</sup>	333 MJ/ kg
<i>Montagem final</i>	
Por chip	0,2-0,3 MJ

Fonte: Adaptado de (Gutowski & Garetti, 2010)

Analisa-se, então, o tipo de *wafer* de procedência, que é definido muitas vezes pelo ano de produção da peça, dado que a maioria das empresas fornecedoras aumenta o tamanho do disco, quando tecnologicamente possível. Com isso, o analista situa-se na região da tabela correspondente a 150 mm, 200 mm e 300 mm, e depois se concatena o empacotamento do material dentro dos *chips*, que será calculado conforme descrito a seguir.

A massa resultante da soma dos *chips* é multiplicada pelo índice correspondente ao tamanho do *wafer*, obtendo-se um resultado em kWh, o qual vai será multiplicado por 3,6 para obter-se o resultado em MJ. Depois esse valor é adicionado ao valor correspondente à manufatura do PWB, assim como o valor da montagem final, que depende diretamente do número de *chips*.

Caso se desconheça a massa dos *chips*, ou já esteja inserido no PWB, existe a possibilidade de realizar um comparativo seguindo a

proporção proposta por Williams (2002), uma vez que um *chip* de 2g terá uma área de 2,7 cm<sup>2</sup>.

## 2.4. ECO AUDITORIA

Nas seções anteriores foram estabelecidas as condições para medir a energia embutida nos materiais que compõem as peças, e definidos os semicondutores como exceção. Entretanto, é necessário verificar sim se trata de um produto composto por diversas peças, materiais e componentes, e como será medida a energia consumida no produto. A ferramenta que permite medir o produto como um sistema é a eco auditoria.

A eco auditoria analisa os fluxos energéticos e de CO<sub>2</sub> que acontecem dentro do sistema definido na figura 2.1, indo além da energia embutida nos materiais que compõem os produtos, incluindo na soma a energia de manufatura, os transportes, o consumo e o descarte final do elemento de estudo. Essas características permitem entender a quantidade de energia que entra e sai do sistema. Nos itens a seguir são especificados cada um dos subsistemas remanescentes do sistema *cladle to grave*.

### 2.4.1. *Gate to Gate* (do portão ao portão)

O subsistema existente entre o portão de entrada e o portão de saída do produto manufaturado *Gate to Gate* contém as transformações, montagem, buffers, transportes internos e variáveis diversas, as quais mudam individualmente para cada fábrica. Cada empresa pode calcular o investimento energético na montagem realizada no interior da fábrica, mediante o seguimento do fluxo energético no leiaute correspondente ao produto, e expressar como a sua soma final, o que proverá um dado mais preciso para os cálculos requeridos, considerando sempre o *mix* energético do lugar onde está sendo efetuada a manufatura. Na tabela 2.6 pode-se observar como se calcula o fluxo energético para diferentes processos.

Tabela 2.6 Cálculo do conteúdo energético na manufatura de uma peça

<i>Processo</i>	<i>Fornecimento E</i>	<i>Fornecimento MJ</i>	<i># Peças</i>	<i>Energia/peça</i>
	<i>kW/h</i>	<i>Austrália</i>		
Forno de fundição	50	10	1000	0,50
Injeção	40	10	120	3,33
Fresadora	50	10	130	3,85
Furadeira	60	10	500	1,20
Torno	40	10	10	40
Bobinadora	30	10	400	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor

Os fatores considerados foram o fornecimento energético em kWh, o número de peças manufaturadas por hora, o *mix* energético do país de localização da fábrica (no caso considerado na tabela 2.6 será a Austrália = 10 MJ) sendo possível calcular matematicamente o aporte energético real de cada peça na manufatura.

Como parte do subsistema *Gate to Gate* e dependendo do escopo requerido, deve-se considerar o consumo dos buffers, transportes internos, custos indiretos e a quantidade de mão de obra requerida ao longo do leiaute do produto. Os valores de consumo energético tendo em vista a mão de obra requerida na manufatura do produto, para condições normais de trabalho, são apresentados na tabela 2.7, sendo as variáveis: número de trabalhadores, número de horas trabalhadas por unidade de produto, o tipo de carga de trabalho (leve, médio, pesado) e o resultado em MJ de energia por produto pelos trabalhadores (Aguila, 2000).

#### 2.4.2. Terceirização

Na literatura sobre eco auditoria, revisada e citada nesta dissertação, a terceirização não é considerada um elemento a ser calculado, mas, para efeitos práticos desta dissertação, é analisada como uma variável independente introduzida na equação de energia embutida durante a manufatura.

Tabela 2.7 Energia correspondente à mão de obra segundo a carga.

	<i>MJ/h</i>	<i># Trabalhador</i>	<i>#Hora/Prod.</i>	<i>Energia gasta</i>
Pesada	2,1	1	0,5	1,05
Média	1,47	2	1	2,94
Leve	0,84	1	3	2,52
Total				

Fonte: adaptado de (Aguila, 2000)

Consideram-se, então, as peças não manufaturadas no interior da fábrica como contendo um aporte energético ao valor final do produto, e deve-se calcular também o valor energético individual, como um dos fatores que influenciam no aporte dentro dos limites do subsistema *Gate to Gate*. Alguns dos valores médios de componentes terceirizados incluem telas, motores, baterias e câmera, os quais são detalhados abaixo:

- Tela LCD: 3.753 MJ/m<sup>2</sup> (Gutowski, 2010), o sistema display é composto por capas de diversos materiais sobrepostos, porém a medida não é realizada individualmente, mas como módulo, e será medido pelo tamanho da tela em m<sup>2</sup>.
- Bateria Li-Ion: 150 MJ/kg (Daniel, 2008).
- Motor elétrico: 48, 76 MJ/kg (Society of Automotive Engineers, 2013).
- Câmera: a analisada na dissertação pertence ao tipo minicâmara, e é instalada em pequenos equipamentos eletrônicos como telefones, com uma massa próxima a 1g. Ela é composta por: lente, sensor digital, processador de imagens. A carga energética considerada será a do processador de imagens, uma vez que se trata de um *chip* de silício, resultando em que a maior parte da energia encontra-se neste componente.

Na soma final do produto devem ser acrescentados os valores de energia correspondentes a cada peça não manufaturada dentro do subsistema.

### 2.4.3. Transporte

O transporte inclui duas etapas bem definidas: (a) o transporte primário, que está limitado pelo fornecimento dos materiais processados ou sem processar que serão necessários na manufatura do produto, como matérias-primas ou peças adquiridas do fornecedor que serão localizadas no *Gate* e estão identificadas na figura 2.1 como T<sup>1</sup>; e (b) o transporte secundário (T<sup>2</sup> na figura 2.1), que se define como o transporte requerido para levar o produto manufaturado e embalado até o consumidor final (Mentzer, 2011)

O valor energético depende de três elementos mesuráveis; a distância percorrida, o modal escolhido (barco, trem, caminhão, avião), e o peso da peça transportada.

A tabela 2.8 permite calcular a energia consumida nos transportes dentro do sistema *cradle to grave*, escolhendo o modal de transporte utilizado inserindo-se a distância percorrida, multiplicado pelo fator normalizado (Ashby, 2009) e pela massa do material transportado em toneladas, se obtém a energia embutida no produto na variável transporte.

Tabela 2.8 Energia consumida no transporte

<i>Transporte</i>				
	<i>km</i>	<i>MJ/t.km</i>	<i>Energia consumida</i>	<i>Massa t</i>
Mar	100	0,16	0,01	0,001
Trem	100	0,31	0,03	0,001
32t Caminhão	100	0,46	0,04	0,001
14t Caminhão	100	0,9	0,09	0,001
Carro a Gasolina	100	2,06	0,20	0,001
Avião - maior autonomia	100	8,32	0,83	0,001
Avião - pequena autonomia	100	15	1,5	0,001
Total			2,72	

Fonte: Adaptado de (Ashby, 2009)



#### 2.4.4. Uso

Depois da entrega do produto ao consumidor, se inicia um novo estágio do sistema visto na figura 2.1. Todo produto possui uma finalidade para a qual foi projetado, e o desenvolvimento desta atividade será considerado o seu uso, e o valor energético associado a esse serviço será medido pelo consumo elétrico requerido para o funcionamento durante a sua utilização.

Devido às perdas na transmissão, assim como os modais energéticos individuais de cada região, o cálculo não pode menosprezar o *mix* energético para cada país, que se encontra disponível na literatura, dado que o consumo local deve ser multiplicado pelo fator correspondente (Ashby, 2009). Além disso, existe um consumo associado indireto, que depende das instalações requeridas para o uso do produto como, por exemplo, quando se requer redes de informação e transmissão de dados, o que também deve ser acrescentado, já que sem essas redes o funcionamento alvo do produto não pode ser realizado.

#### 2.4.5. Descarte

O descarte dos materiais possui várias possibilidades. Conforme a Figura 2.1, os materiais podem ser levados aos aterros, onde, dependendo do tipo de material, ficará inerte, esperando a degradação própria. Neste caso, o aporte energético do *Cradle to Grave* será neutro (Donough, 2002). Outra possibilidade corresponde a materiais que, durante a sua degradação, reagem quimicamente interagindo com o meio e, assim, após o descarte, continuará gerando gases ou vazamentos. Neste caso, devem ser adicionados tais valores na soma final do aporte energético CTG (*Cradle to Grave*) dada a sua contaminação.

Uma possibilidade ao final da vida útil é o reingresso ao ciclo. Outra possibilidade é a prolongamento do uso do produto mediante repotenciação (que é uma contribuição positiva deste modal. Mediante a substituição da peça que ocasiona a quebra) em que o produto mantém o valor agregado do produto original, o que evita ou regula a entrada de um produto novo, com as mesmas características. Uma terceira possibilidade é o reuso das peças ainda úteis, na manufatura de outros produtos, economizando assim a energia correspondente na produção destas.

A reciclagem é outra opção para reintegração dos materiais, em muitas ocasiões requerendo um reprocesso deles para serem usados na manufatura de novos produtos, geralmente de menor valor agregado, dadas as novas características do material. Alguns autores consideram a reciclagem como *downcycling* devido à perda de algumas propriedades após a adequação (Donough, 2002). *Downcycling* é o processo de recuperação de um material para reuso em um produto com menor valor, ou seja, a integridade do material é de certa forma comprometida com o processo de recuperação.

Tanto a repotenciação, o reuso e a reciclagem contribuem para a energia no resultado da eco auditoria, uma vez que evita o uso de novos materiais, processos de manufatura, e transportes (primário e secundário), no caso de ser requerida sua produção. Dito isso, o valor do *Cradle to Gate* correspondente aos materiais reingressados ao sistema deve ser subtraído do dado de eco auditoria (Ashby, 2009).

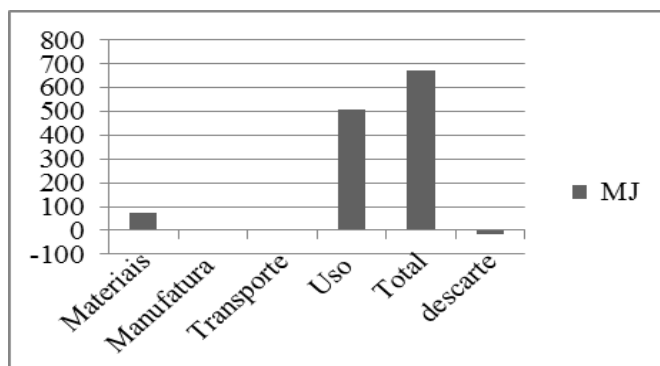
#### 2.4.6. Dado de eco auditoria

Quando calculados os valores dos subsistemas, pode-se gerar um gráfico de informação com os resultados, segundo Ashby (2009). Para o caso de um secador de cabelo, têm-se as seguintes condições iniciais (ASHBY, 2009):

- **Cradle to use:** consumo: 2 kW Massa: 0,89 kg, uso funcional: quando ligado, uso real: 3 minutos por dia, tempo total de uso (*lifespan*): 3 anos, local de fabricação: sudeste da Ásia
- **Descarte:** reciclagem da carcaça de polímero e subsistema do bocal.

Calculando-se os subsistemas segundo os itens anteriores, de acordo com a metodologia de Ashby (2009) os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 2.2 e na Tabela 2.9.

Figura 2.2 Resultados obtidos da metodologia de Ashby (2009) para o cálculo dos subsistemas para um secador de cabelo



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2.9 Resultados obtidos da metodologia de Ashby (2009) para o cálculo dos subsistemas de um secador de cabelo

Materiais	72,3 MJ
Manufatura	6,8 MJ
Transporte	2,8 MJ
Uso	506,0 MJ
Total	673,0 MJ
Descarte	-15,32 MJ

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados, pode-se melhorar cada um dos subsistemas para diminuir o consumo energético durante as etapas da vida do secador, para torná-lo mais sustentável.

Uma explicação mais detalhada da análise por componentes e materiais deve ser realizada sobre o produto em análise, para definir os materiais, peças, componentes terceirizados, será descrita nos próximos itens.

## 2.5. *BILL OF MATERIALS* (BOM)

Segundo (Jiao, 2000), a lista de materiais (BOM - *Bill of Materials*) contém informações sobre a sub-montagem, montagens intermediárias, subcomponentes, partes e quantidades de cada material usadas na manufatura do produto, sem considerar as dimensões físicas dos materiais. Pode ser utilizada como a comunicação entre os integrantes envolvidos na manufatura ou entre os planejadores do produto.

O tipo de BOM depende da necessidade do negócio, podendo ser um meio informativo para o consumidor no caso dos aparelhos eletrônicos. Em geral, o BOM:

- Permite determinar o custo real do produto: detalha os componentes do produto nas quantidades usadas, incluindo os preços atualizados de cada componente para refletir a realidade do mercado;
- Garante a inclusão de todos os componentes: a lista dos componentes define a sequência utilizada na fabricação e permite que, no momento de se fabricar, tenha-se incluído cada uma das peças necessárias;
- Padroniza a fabricação do produto: uma vez definido o BOM, pode-se utilizar como parte do processo padrão de fabricação para garantir a consistência do produto fabricado;
- Permite criar estratégias sólidas de custos: utilizando o detalhamento dos componentes pode-se determinar as margens de ganho mais precisas, podendo variar os preços;
- Facilita reagir às mudanças do mercado: os tipos de variações dos componentes permitem determinar a importância no produto final, podendo ser corrigido e, desse modo, minimizar desperdícios e perdas.

O BOM permite também conhecer cada material requerido na manufatura do produto, assim como as suas propriedades e, mediante análise, sugerir mudanças e melhorias aos fornecedores, que permitem aperfeiçoar o desempenho das peças que o compõem Figura 2.3.

Figura 2.3. Exemplo de lista de materiais (BOM).

## Preliminary Bill-of-Materials Summary for Samsung Galaxy Tab GT-P1000

Function	Manufacturer	Part Number	Description	Cost
<b>Display &amp; Touch Screen</b>				<b>\$57.00</b>
Includes	Samsung Mobile Display	LMS700JF03	Display Module - 7" Diagonal, LED Backlit TFT, 1024 x 600 Pixels, 169ppi, 24 White LEDs Backlight	
			Touch Screen - 7" Diagonal Capacitive	
<b>Memory</b>				<b>\$51.00</b>
Includes	SanDisk	SDN4C2-16G	Flash - eMMC NAND, 16GB, MLC	
	Samsung Semiconductor	KB100D00YM-A453	MCP - 8Gb MLC Flex-OneNAND + 4Gb Mobile DDR + 1Gb OneDRAM, PoP (Estimated)	
<b>Mechanical / Electro-Mechanical</b>				<b>\$15.22</b>
Includes			PCBs, Metals, Plastics, Connectors, Etc.	
<b>User Interface</b>				<b>\$13.87</b>
Includes	ST Microelectronics	L3G4200D	Gyroscope - 3-Axis, Digital	
	Atmel	MXT224	Touch Screen Controller - Capacitive, 12-bit, 224-Channel Configuration, 400KHz, w/ I2C Interface	
	Texas Instruments	SN75LVDS83BZQLR	LVDS Transmitter	
<b>Battery</b>				<b>\$10.60</b>
Includes	Samsung SDI	SP4960C3A	Battery - Li-Ion, 3.7V, 4000mAh, 14.8Wh	
<b>Baseband</b>				<b>\$10.07</b>
Includes	Infineon	PMB9801	Baseband - HSUPA/HSDPA/WCDMA/EDGE, ARM1176 Core	
<b>RF / PA</b>				<b>\$9.09</b>
Includes	Infineon	PMB5703	RF Transceiver - Quad-Band GSM/EDGE, Quad-Band WCDMA/HSDPA/HSUPA, 130nm RF CMOS	
	TriQuint Semiconductor	TQMxxxx	Transmit Modules (4 in all)	
<b>Apps Processing</b>				<b>\$8.84</b>
Includes	Samsung Semiconductor	S5PC110A01	Multimedia Application Processor - 1GHz, ARM Cortex A8 Core, PoP	
<b>BT / FM / GPS / WLAN</b>				<b>\$8.96</b>
Includes	Broadcom	BCM4329HKUBG	Bluetooth/FM/WLAN - Single Chip, WLAN IEEE802.11a/b/g/n, Bluetooth V2.1+EDR, w/ FM Radio Receiver & Transmitter	
	Broadcom	BCM4751UB2G	GPS Receiver - Single Chip	
<b>Camera</b>				<b>\$7.95</b>
Includes			3MP and 1MP Camera Modules	
<b>Accessories, Literature &amp; Packaging</b>				<b>\$7.11</b>
Includes			Headset, USB Charger and Adapter, Cord, Box, Etc.	
<b>Power Management</b>				<b>\$5.51</b>
Includes	Maxim	MAX8996	Power Management IC	
<b>Total BOM (Materials Only)</b>				<b>\$205.22</b>
<b>Estimated Manufacturing Costs</b>				<b>\$9.35</b>
<b>Total BOM (Materials and Manufacturing Costs)</b>				<b>\$214.57</b>

*\*This cost assessment is preliminary in nature, and accounts only for hardware and manufacturing costs and does not take into consideration other expenses such as software, licensing, and royalties or other 'soft' costs.*

Fonte: (Rassweiler, 2010)

## 2.6. VIDA DO PRODUTO

Alguns critérios que irão auxiliar a definição das bases desta dissertação devem ser considerados e definidos conceitualmente para avaliar os resultados e o escopo dos objetivos. Começam-se determinando o que se define como estágios da vida do produto segundo diferentes enfoques (ASHBY, 2009):

- Vida física: tempo em que o produto quebra em definitivo, isto é, sem a possibilidade de reparo econômico.
- Vida funcional: tempo em que a necessidade da existência do produto termina.
- Vida tecnológica: tempo no qual os avanços na tecnologia tornam o produto obsoleto.
- Vida econômica: tempo que os avanços no projeto e na tecnologia proporcionam a mesma funcionalidade com um custo operacional significativamente mais baixo.
- Vida legal: tempo em que novos padrões, diretrizes, leis e restrições tornam ilegal o uso do produto.
- Perda de desejabilidade: tempo em que mudanças no gosto, moda, ou preferência estética tornam o produto não atraente.

Estes são os estágios de vida de produto considerados neste trabalho. Dento do sistema cradle to grave, o processamento dos materiais podem ser considerados como um cradle to gate<sup>2</sup>, dentro do próprio sistema. Cradle to gate<sup>1</sup>

## 2.7. OBSOLESCÊNCIA

O enfoque econômico do mercado propõe, segundo Craig (2009), uma metodologia para calcular a obsolescência de uma família de produtos:

- Identificação de peças/tecnologia de grupos:

A proposta primária desse passo é identificar tecnologias de grupos similares, considerando famílias ou peças da mesma tecnologia e funcionalidade. Tem-se como exemplo: tamanho, número de transistores e velocidade dos processadores (AMD, Intel, Mícron).

- Identificação de atributos primários e secundários:

Os atributos primários e secundários são características fundamentais das tecnologias. Essas características são fornecidas pelas empresas, no campo de desenvolvimento de pesquisa e venda. Busca-se definir os elementos importantes que compõem os atributos primários.

- Determinar o número de fornecedores:

Neste passo determina-se o número de fornecedores, destacando as peças que têm número limitado de fornecedores, ou se a peça já é obsoleta e não tem mais fornecedor, assim como se a peça é nova e ainda está indisponível.

- Obter vendas dos atributos primários:

Com a finalidade de identificar a etapa de maturidade da curva, localiza-se o produto na curva do ciclo de vida.

- Construção do perfil e determinação de parâmetro:

Segundo Pecht (2002), a distribuição normal corresponde a uma distribuição gaussiana, a qual é usada para analisar a curva de etapas de maturidade de um produto, que é determinada pelas Equações (1) e (2). Cujas variáveis estão definidas na lista de símbolos.

$$f(x) = ke^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$(u + 2,5\sigma - p, u + 3,5\sigma - p) \quad (2)$$

- Determinação da zona de obsolescência:

A zona de obsolescência é um tempo estimado em que as peças começam a tornarem-se obsoletas. Segundo (M.Pecht, 2002), esse tempo divide-se em intervalos contidos em pares ordenados de distribuição, segundo a etapa de maturidade, conforme mostrado na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 Zona de obsolescência e o tempo de intervalo estimado

Life Cycle Stage	Ordered pair (zones)
Introduction	$(\mu - 3\sigma, \mu - 2\sigma)$
Growth	$(\mu - 2\sigma, \mu - \sigma)$
Maturity	$(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$
Decline	$(\mu + \sigma, \mu + 2\sigma)$
Phase-out	$(\mu + 2\sigma, \mu + 3\sigma)$

Fonte. (M.Pecht, 2002)

### 2.7.1 Obsolescência programada

Baseado no trabalho de Rice (2002) sobre obsolescência programada, em contraste com a melhoria planejada, esta pode ser definida como um programa em que os responsáveis pelo produto tendem a encurtar o período de tempo ou o número de atuações onde o consumidor se vê satisfeito e, desta forma, ele é encorajado a comprar um produto mais novo para repor o anterior.

A obsolescência programada está atualmente sendo usada por alguns produtores para reduzir custos, levando em consideração o projeto para qualidade e durabilidade. Porém, existem também inúmeras desvantagens que precisam ser consideradas. Em geral, a política de obsolescência programada pode ser dividida em efeitos de curto prazo e longo prazo.

O maior benefício da obsolescência programada consiste em que, em curto prazo, ela possibilita ao produtor diminuir custos de produção e, dessa forma, aumentar os seus ganhos. Esses ganhos são gerados ou pela redução no custo do consumidor (devido a uma maior quantidade de vendas), ou pela redução no custo da produção. Outra vantagem da obsolescência programada é que ela gera um rápido e contínuo ciclo de consumo e produção. Essa alta taxa de produção, conseqüentemente, gera um alto nível de empregos. Finalmente, parece que consumidores preferem substituir a qualidade e a durabilidade por estilo e pluralidade de designs em um *trade-off* baseado em custo. Essas



vantagens (ganhos, produção, empregos e satisfação do consumidor) parecem apontar para uma defesa da obsolescência programada. Entretanto, deve-se considerar a desvantagem do esforço para desenvolver tais produtos com pelo menos a mesma qualidade dos produtos atuais.

### **2.7.2 Obsolescência por fim de ciclo de vida**

É a obsolescência dada no fim da vida útil do produto pelas características e propriedades físicas e químicas dos materiais utilizados. O produto foi projetado visando a máxima qualidade resultante dos seus materiais, desenho e uso.

### **2.7.3 Obsolescência por incompatibilidade tecnológica**

É a obsolescência resultante dos avanços tecnológicos que ocorrem quando um produto ainda está no seu ciclo de vida físico e, portanto, passa a não ser utilizado devido à impossibilidade de atualizar os componentes ou os programas dos softwares.

### **2.7.4 Obsolescência por estilo (moda)**

Obsolescência dada pela mídia, que convence o consumidor a desejar trocar seus produtos ainda na faixa de vida tecnológica. Impulsionado pelo desejo de adquirir um produto novo, mais moderno, o comprador se vê “obrigado” pelo mercado a se desfazer de seu produto original. Na figura 2.4 pode-se observar uma bateria projetada para não ser substituída quando acabar a sua vida útil, e nesse caso tem-se que descartar todos os outros módulos do produto.



monitoramento permanente, as quais irão consumir energia durante o tempo em que o aparelho se mantém ligado. Esse tempo não pode ser considerado como *stand by*, já que durante o tempo em que o usuário não está utilizando o aparelho, o *board* (placa) encontra-se realizando funções de software autônomas (GPS, procura de sinal, administração de aplicativos), comparativamente pode equivaler às funções involuntárias humanas, como o sistema nervoso central.

### 2.8.2. Baterias

Na figura 2.5 pode-se observar um comparativo das características básicas das baterias usadas, o qual pode ser consultado no manual da bateria usada no produto a analisar, a qual pode indicar quantos ciclos de vida útil a bateria terá (Dimitrijevic, 2011). No caso de intervalos, será considerado o valor médio para os cálculos. Deve-se mencionar que o consumo de energia do produto, para cada recarga, depende da quantidade de processos simultâneos que estejam ativos no aparelho.

Figura 2.5 Comparativo de características de diferentes baterias

	Lead Acid	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Ion	Li-Poly	LiFe
Voltage	2V	1.2V	1.2V	3.6-3.7V	3.6-3.7V	3.3V
Energy Density (Wh/kg)	35	45	70	167	110	100
Cycle Life	400	500-1000	400-1000	300-1000	300-1000	>1000
Life (Yrs) @ one charge/day	1	2	2	1+	1+	3
Self Discharge Rate (%/mo)	10%	30%	30%	3%	3%	3%
Charging Time	8 hrs	1.5 hrs	4 hrs	2-6 hrs	2-6 hrs	1-3 hrs
Safety	No BMS	Good	Good	Poor	Average	Good
High Temp Performance	Good	Good	Good	Average	Average	Good
Cold Temp (0°F) Charge	Good	Fair	Fair	0-45degC	0-45degC	0-45degC
Cold Temp (0°F) Discharge	Good	Good	Poor	Avg-Good	Avg-Good	Good
Memory Effect	No	Yes	Little	No	No	No

Fonte: (Dimitrijevic, 2011)

Segundo o fornecedor, o tempo de uso contínuo, para um ciclo, será: navegação= 10h, ligação= 8h, repouso= 150h, reprodução de vídeo= 10 h, reprodução de áudio= 40h (Apple, 2014). Porém, segundo estas especificações, pode-se inferir que as projeções são feitas considerando que todos os outros sistemas estarão desligados no momento do cálculo.

## 2.9. SMARTPHONE

Um smartphone é um telefone móvel com características próprias de um computador e, por isso, é chamado de telefone inteligente. Algumas destas características são: capacidade de executar tarefas simultâneas, podendo, por exemplo, receber chamadas, consultar informações, navegação na internet ou ouvir música. Ele difere do telefone convencional pela capacidade de instalar programas, e por possuir um sistema operacional. Algumas das características que eles possuem são: gerenciamento de contas de internet compra e instalação de software após a aquisição do produto, dispositivos *touch*, adaptabilidade de formato para os arquivos recebidos e aplicativos de atualização em tempo real.

Eles dispõem de um PWB que, conforme Meyer (1997) pode ser definido como o conjunto de partes, subsistemas e sistemas que compartilha um produto, e permite o desenvolvimento de modelos derivados do mesmo, salvando custos e tempo como a Plataforma física comum do equipamento a analisar, com *chips* inseridos para diversas funções de acordo com as aplicações projetadas pelo fabricante, um display, componentes mecânicos metálicos e plásticos, câmera, bateria e sistema de som.

O primeiro smartphone foi criado graças à IBM, que em 1992 projetou a “Simón”. Sua comercialização ocorreu um ano mais tarde, pela Bellsouth. Esses primeiros aparelhos inteligentes, além de serem telefones, tinham: calendário, relógio, agenda, jogos, além de permitir receber e enviar e-mails e fax etc.. Eles não tinham teclado, nem botões, somente a tela *touch*.

O smartphone, em média, é composto por 500 a 1000 peças, de diversos materiais. Como esses materiais são semicondutores e/ou metais preciosos, não se pode aplicar a Lei de Pareto para desestimar os componentes usados em menor quantidade, na hora de calcular a energia de obtenção e mineração do material, uma vez que materiais semicondutores e metais preciosos normalmente possuem uma elevada

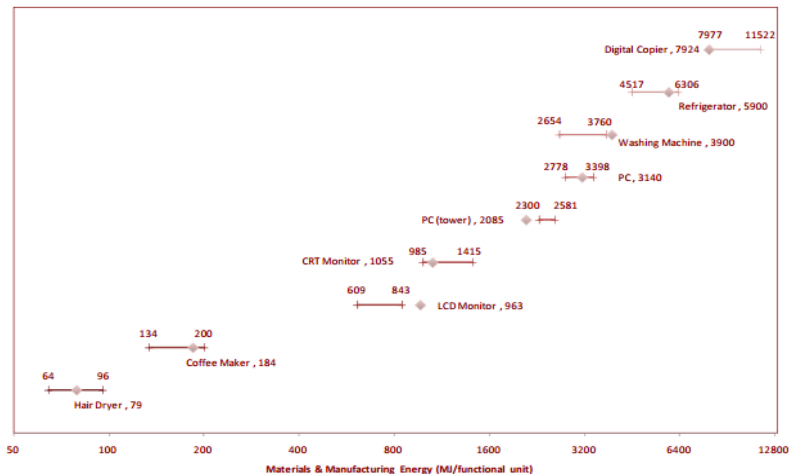
energia embutida. Os principais e mais importantes materiais usados em smartphones são: Cerâmicos 16%, ABS-PC, 29%, Prata 1%, Zinco 1%, Níquel 1% Ferro 3%, Peças de silicone 10%, Epóxi 9% Cobre 15%, Outros plásticos 8%, Poliestireno 2%, Ouro < 1%, Chumbo<1%. (Nokia, 2005).

## 2.10 ANÁLISE COMPARATIVA DE TRABALHOS RELACIONADOS.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foram encontrados vários trabalhos acadêmicos em áreas relacionadas ou que forneciam dados de interesse em alguns dos questionamentos formulados nesta dissertação.

O grupo de pesquisa *Environmentally Benign Manufacturing* do *Massachusetts Technology Institute* (MIT) desenvolve vários trabalhos relacionados à manufatura sustentável. Um desses trabalhos corresponde ao desenvolvimento de uma ferramenta para calcular a energia embutida em produtos. O trabalho cita as tabelas de (Ashby, 2009) para calcular energia embutida nos materiais e processos, desenvolve fatores padrão para estimar vários produtos, fatores esses que foram utilizados nesta pesquisa para os cálculos de semicondutores e telas. Tais procedimentos se distanciam do método de ecoauditoria proposto por (Ashby, 2009), desconsiderando o transporte, consumo e recuperação de materiais, e os resultados conseguidos se contrastaram com LCI publicados coincidindo aproximadamente. Os produtos que foram analisados naquele laboratório no MIT foram: secador de cabelo, cafeteira, monitor CTR, monitor LCD, computador pessoal, geladeira, máquina fotocopadora (figura 2.6).

Figura 2.6 Resultados energia embutida EBM *research group* MIT



Fonte. (Gutowski & Garetti, 2010)

Os resultados conseguidos na pesquisa apresentam valores de energia embutida nos produtos selecionados, mas não explica as medições quando feitas nos aparelhos, aparecendo referenciadas diretamente nos gráficos. Por enquanto não é possível saber a metodologia utilizada no processo de separação de peças e materiais, e como foi calculada a energia investida na fabricação dos produtos. O trabalho propõe categorias de aparelhos que foram mostradas na figura 2.6, mas não é especificado o modelo, nem se representa o valor de referência para esse tipo de produto.

Os resultados obtidos de maior interesse para análises comparativas são: a energia embutida no computador (3140 MJ) e na tela LCD (963 MJ)

Trabalhos como os desenvolvidos por Ashby (2009) e pela ISO (especificamente na norma ISO 14000) são base da pesquisa mundial em eco auditoria e LCA, e múltiplos dados gerados por eles são utilizados como referência nesta dissertação, como pode ser observado, por exemplo, nos perfis energéticos desenvolvidos nos campos da extração, transporte, consumo e recuperação de materiais e peças, citadas nesta dissertação. Considera-se que os cálculos dos processos estão sujeitos a melhorias na especificidade, já que o mesmo autor do trabalho expressa que a precisão deste item varia significativamente

devido à distribuição da fábrica e dos processos utilizados na manufatura do produto. A presente dissertação aplica uma abordagem diferente daquela aplicada por Ashby (2009), propondo uma estrutura individual para realizar este cálculo segundo as características de cada caso. Além disso, as características das informações de eco auditoria fornecidas pela metodologia são consideradas como atemporais, conferindo ao produto analisado um perfil energético que permanece fixo ao longo da sua vida útil, o que não coincide com o escopo desta dissertação, requerendo a utilização de ferramentas complementares, que incluam a variável tempo.

Os resultados obtidos de maior interesse para análises comparativas são: a definição do sistema *cradle to grave* (*cradle to cradle*), e os valores de recuperação dos materiais quando reingressam no sistema.

Com relação a trabalhos acadêmicos sobre obsolescência dos materiais na construção de prédios, (Hernandez, 2010), por exemplo, são analisados a variação na utilização de materiais, considerando a energia investida na mineração, no processamento e na geometria dos mesmos, e comparando com diferentes variáveis de aproveitamento como: a energia armazenada em sistemas de aquecimento ao longo da vida útil da residência, o *lifespan* do prédio, o gasto energético em iluminação ao longo da vida útil do prédio. Uma vez que essa vida útil é em média de 50 anos, a acumulação destes armazenamentos pode ter valores bastante altos, e em países que se veem afetados por longos períodos de frio anualmente, os sistemas de aquecimento consomem grandes quantidades de recursos, geralmente fósseis.

Esses estudos realizados tentam calcular o benefício decorrente do uso de materiais que possuam um valor maior de energia embutida, porém as suas características favorecem o balanço energético final, por exemplo, aumentando a vida útil do prédio para 100 anos. A variável tempo aparece na equação, no cálculo da relação energia embutida anualizada (EEA), o que se consegue dividindo-se a energia embutida entre o número de anos projetados de vida útil. Além disso, é preciso distribuir a EEA por m<sup>2</sup> da construção, somando os materiais e as peças de construção calculados individualmente e anualizando as peças, o que confere uma característica numérica e objetiva a respeito da sustentabilidade da construção.

Os resultados obtidos de maior interesse para análises comparativas são: o conceito de energia distribuída no tempo, como densidade energética, e a possibilidade de analisar separadamente os componentes de um produto, entendendo que são variáveis independentes.



### **3. SIMULADOR PARA CÁLCULO DE ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA (SEDOP-GRIMA)**

Atualmente existe uma variedade de softwares disponíveis comercialmente, os quais permitem desenvolver análises de LCA e eco auditoria. A grande maioria deles é comercial, e pertencem às prestadoras de serviços dedicadas a avaliar empresas para outorgar certificados de sustentabilidade ou para oferecer oportunidades de melhorias na produção. Como exemplos desses softwares tem-se o SIMAPRO (<http://www.pre-sustainability.com/simapro>) e o GaBi (<http://www.gabi-software.com/brazil/index/>). Estes, geralmente, se focam na quantidade de contaminantes emitidos e na geração de CO<sub>2</sub>, mas não proporcionam muitas oportunidades de explorar a energia distribuída durante o processo de vida útil dos produtos.

Devido ao escopo deste trabalho, se viu necessário desenvolver um programa computacional para integrar as bases de dados disponíveis na literatura, os tipos de materiais, peças fornecidas por terceiros, a distribuição da modularização e os tempos de vida médios dos componentes, focando sempre na energia consumida desde o berço ao túmulo. A ferramenta explicada no capítulo anterior ao desenvolvimento da metodologia, uma vez que é independente à metodologia. Porém, os cálculos realizados, baseados nos trabalhos citados no capítulo 2, são, programados na ferramenta computacional, para facilitar o processo de obtenção de dados na metodologia.

As características e funções da ferramenta desenvolvida em EXCEL em modo de planilha eletrônica, são as seguintes:

- a) As telas separam os subsistemas definidos no capítulo 2. Energia embutida, processos, transporte, consumo, descarte, resultados e densidade energética embutida.
- b) A coluna azul em cada tela é a única que precisa ser preenchida com informações definidas e explicativas para cada subsistema (p.e. massa, distância, tempo).
- c) As células laranja representam as somas em cada categoria (energia e CO<sub>2</sub>)
- d) As células verdes representam a quantidade de energia que pode ser recuperada se o material for reingressado ao sistema através da reciclagem, segundo visto no item 2.4.5.

- e) As células amarelas são janelas que exibem opções de país ou produto para definir o *mix* energético, o tipo de consumo que possui e que deverá ser utilizado na análise.
- f) Do lado direito de cada tela aparece um quadro branco e preto que vai sendo preenchido automaticamente com a inserção de dados à esquerda, e irá disponibilizando um dado parcial do produto mediante informações na tela de resultados.

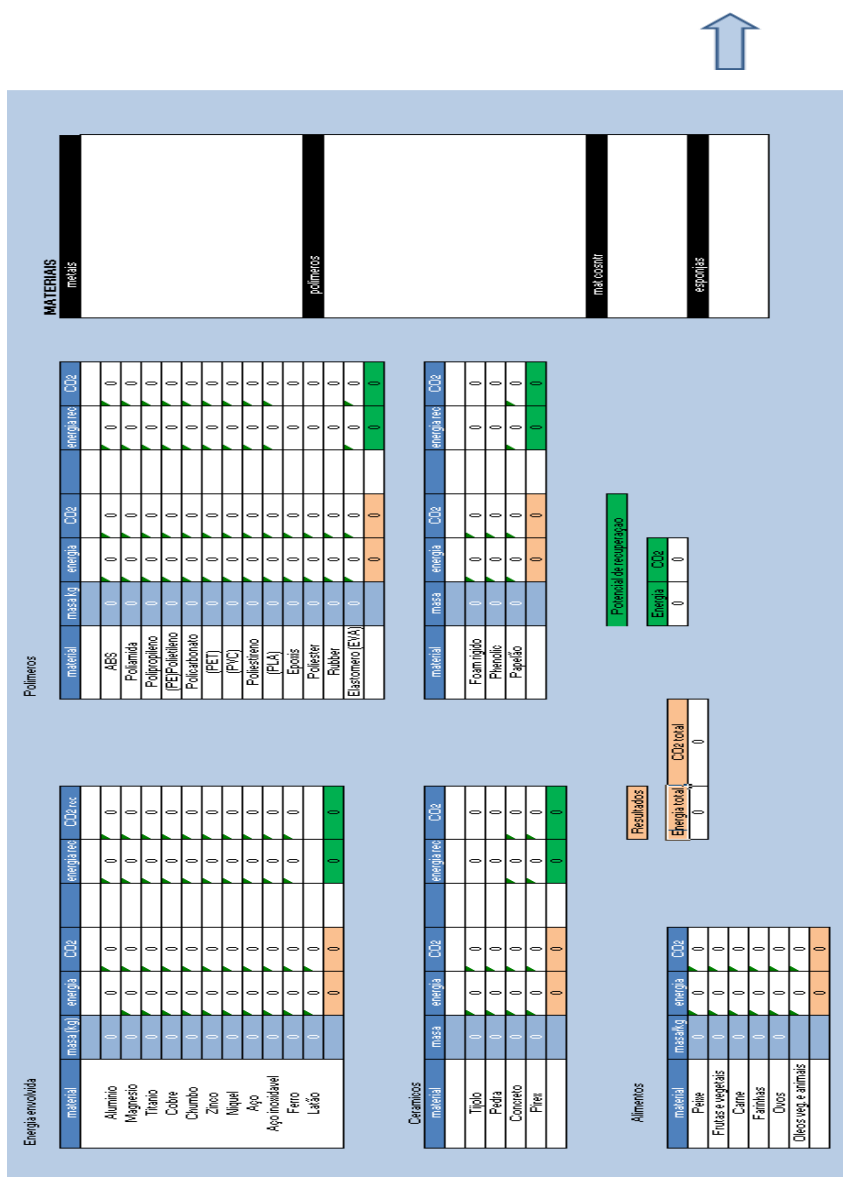
### 3.1. ENERGIA EMBUTIDA

Seguindo a ordem do sistema *Cradle to Grave*, a primeira tela disponibiliza para o usuário diferentes tipos de metais, polímeros, cerâmicos e alimentos. Cada quadro separado nestas categorias procura dar ordem e facilitar o seu uso (figura 3.1). A coluna azul deve ser preenchida com a massa correspondente ao material de cada uma das peças, e que é obtido no BOM do produto. Assim, aparecerá automaticamente o valor correspondente de energia de extração (mineração) do material que, segundo conceito visto no capítulo anterior, corresponde à fração proporcional à obtenção de 1 kg de material usável (Ashby, 2009).

Ao final de cada quadro soma-se (na célula laranja) a energia acumulada por material inserido na tabela por categoria, assim como no resultado final de materiais e a quantidade de CO<sub>2</sub> gerado no processo.

Nas células verdes soma-se automaticamente a energia correspondente a cada material incluído na lista de materiais usados, assim como o CO<sub>2</sub> que não será gerado. Esses dados são mostrados também na tela de resultados, e permitem auxiliar na tomada de decisões para futuras mudanças, após calcular a densidade energética embutida.

Figura 3.1 Leiaute janela 1: Energia embutida



Fonte: SEDOP-GRIMA

No quadro branco e preto aparecem automaticamente os materiais usados com as correspondentes cargas energéticas, como resumo das informações que serão mostradas na tela de resultados.

### 3.2. PROCESSOS

Na segunda tela do programa (figura 3.2), aparece primeiramente uma lista de possíveis processos industriais requeridos na manufatura das peças que irão compor o produto. Ao invés de normalizar os dados na média, o programa permite modificar o tipo de procedimento, incluindo a potência da máquina, e solicita a inserção dos dados numéricos de peças fabricadas por hora, e na célula amarela o país de localização, para mudar o coeficiente do *mix* energético. A saída (*output*) do quadro corresponde à energia acumulada no produto após recorrer ao leiaute de manufatura. Todos aqueles dados inseridos irão aparecer no quadro da esquerda e serão mostrados na tela de resultados. Entretanto, no caso em que não se tem acesso às informações, pode ser utilizada a tabela normalizada de consumo energético devido aos processos, desenvolvida e disponível na literatura (Gutowski, 2010), na qual pode-se obter valores para alguns processos industriais.

A seguir, no quadro “transporte”, considera-se que a empresa é fornecida mediante modais compostos de transporte (caminhão, trem barco, avião). Os dados de entrada requeridos são a distância percorrida por cada modal e a massa da peça transportada (em toneladas). No caso de peças pequenas, abaixo do quadro “transporte” aparece um conversor de unidades. A saída do quadro será o total de energia embutida no produto devido aos transportes (primários e secundários) somados, sendo que cada distância será multiplicada pelo fator correspondente ao consumo energético por km, tendo sido considerados o modal e a massa da peça (Ashby, 2009).

Dependendo do escopo requerido para simular as condições, o programa pode incluir no cálculo a energia consumida pelos trabalhadores envolvidos na montagem do produto. Segundo os manuais internacionais de trabalho da OIT, o trabalho se categoriza em três estágios: leve, intermédio e pesado. De acordo a quantidade de quilocalorias (kcal) queimadas por hora no desempenho da atividade, pode-se então, sabendo-se o tipo de carga e a quantidade de peças manufaturadas pelo operário, calcular a energia consumida pela mão de obra. Os dados de entrada do quadro serão a intensidade horária, o tipo de carga e a quantidade de peças produzidas por hora.

A maioria das empresas compra inúmeros componentes requeridos na manufatura. Isso ocorre devido à especificidade das peças e ao escopo da empresa, que prefere terceirizar a investir em linhas de produção paralelas. Algumas destas peças são fornecidas por fábricas dedicadas a produzir o componente requerido, as quais manejam a distribuição aberta para diversos compradores e oferecem a informação completa do BOM da peça.

As categorias incluídas no programa desenvolvido, denominadas peças terceirizadas, são mensuradas energeticamente baseando-se em publicações acadêmicas disponíveis, e o fator de conversão para cada caso é mostrado em cada componente (figura 3,3). As categorias são: *display*, motores elétricos, baterias íon LI, PWB, *wafers* e cabos. Cada quadro possui o valor energético em MJ correspondente no sistema MKS, e na célula azul correspondente (figura 3.3) deve ser inserido o valor dimensional correspondente da peça. Por exemplo, no caso da tela aparece o valor 3.573 MJ, referente a um metro quadrado, e na célula azul, na qual será inserido o dado da tela a medir, deverá ser inserido o valor em metros quadrados. Para facilitar as conversões, a tela processos conta com um conversor de área.

Figura 3.2 Leiaute janela 2: Processos

Processos					Componentes reforcizados				
Manufatura									
Processo	Suministro e	Coef. Minc	# Peças/Ano	Energia/Peça					
Forno de fundição	KWh	USA							
Injeção	0	7,1	1	0					
Fresadora	0	7,1	1	0					
Taladradora	0	7,1	1	0					
Torno	0	7,1	1	0					
Bomba	0	7,1	1	0					
Pinçura	0	7,1	1	0					
Embalagem	0	7,1	1	0					
Total				0					
Transporte									
Mar	km	Mj/Tn.km	energia gerada	massa Tn					
Trevo	0	0,16	0	0					
32m Cam	0	0,46	0	0					
Min Cam	0	0,9	0	0					
gas Car	0	2,06	0	0					
Avião longa auto	0	8,32	0	0					
Avião curta auto	0	15	0	0					
cm² para m²	cm²	m²							
0	0	10000	0	Converter área					
g para Tn	g	kg	Tn	Converter massa					
0	0	0	0						
Trabalhador									
Mj/h	# trabalhador	# hora/prod	energia gerada						
2,1	0	0	0						
147	0	0	0						
0,84	0	0	0						
Telas									
Mj/m²	m²	energia gerada							
3573	0	0							
3189	0	0							
PVB									
PVB 814,5kg/m²	kg	energia gerada							
46	0	0							
PVB 812kg/m²	333	0	0						
Water manuf.									
mm	Mj/cm²	área	energia/water						
Water 150	1	0	0						
Water 200	32	0	0						
Water 300	35	0	0						
Motor eléctrico									
motor	peso		energia						
kg	0		0						
Bateria									
bateria Li	peso								
kg	0		0						
Cabo									
kg									

Processos
componentes
motores
baterias
cabo

Fonte: SEDOP-GRIMA



desenvolvido atribui valores padronizados do consumo elétrico quando funcionando, e do consumo *stand by* automaticamente nas células. O segundo passo consiste em escolher a região onde o produto será usado. Quando o usuário escolhe o país, o *mix* energético muda.

Após definir as condições iniciais, o passo seguinte será inserir os dados de tempo de uso diário, dias de uso por ano e número de anos. A categoria número de anos pode ser usada para calcular a quantidade de energia consumida pelo produto desde o momento da compra até um momento qualquer definido pelo analista (primeiro ano de uso, energia consumida até a primeira manutenção, análise atual de consumo na data do informe), ou para calcular quanta energia será consumida pelo produto durante o seu tempo de vida projetado.

Deve-se considerar que na célula MJ Dir. é mostrado o valor energético diretamente consumido pelo produto. Mas, na célula da direita o valor corrigido corresponde ao valor real gerado na fonte (usina hidroelétrica, termelétrica) requerido, e que irá se perdendo na rede de distribuição de energia após multiplicar pelo fator de modal *mix* energético para a região correspondente. Na célula seguinte é mostrado o valor sem contabilizar o consumo *stand by*.

Figura 3.4 Leiaute janela: consumo

CONSUMO								
Alimentação								
	Aparelho	kWh		Tempo M uso dia horas/dia	Dias	Tempo de uso Anos	Energia cons. MJ Dir	OE Equiv Australia
		Activo	Stand by					OE Equiv. Sem Sb
A-K L-Z	Freezer	0,3	0	24	365	3	7884,00	78840,00
	Lampada incand.	0,06	0	0	0	0	0,00	0,00
							7884,000	78840,00

Fonte: SEDOP-GRIMA

Os valores que aparecem na figura 3.4 representam um exemplo que descreve um freezer sem consumo *stand by*, dado que se encontrará ligado permanentemente e o valor de consumo expressa-se normalizado, desconsiderando as variações devido à manipulação (abrir e fechar a porta), pode ser observado o uso de 24 horas, 365 dias por ano, durante três anos. O cálculo inicial de consumo (consumo direito) será 7.884MJ, mas, depois de aplicar o fator de correção dado o *mix* australiano (Ashby, 2009) o valor real requerido para essas condições acrescenta-se até 78.840 MJ.



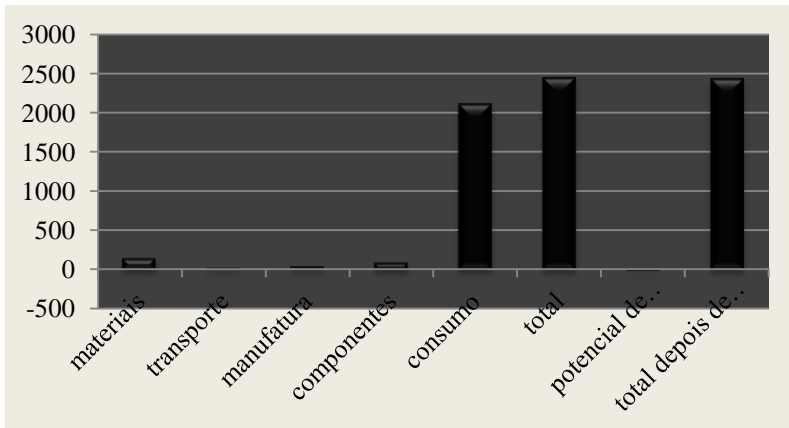
### 3.4. RESULTADOS

Todos os dados gerados nas janelas anteriores aparecerão na janela de resultados. Primeiro no quadro de dados, separados por categorias: materiais (matérias primas), processos, transporte, componentes e consumo, assim como a quantidade de energia que se salva se os materiais são recuperados. Ao lado é gerado o gráfico correspondente com as informações (figura 3.5), como ferramenta visual para comparar os fatores mais influentes na soma final da energia. Considerando o escopo e enfoque da dissertação, na janela resultados se obtém um comparativo dos valores das categorias, sem registrar o valor do consumo energético durante a fase de uso (figura 3.6), devido ao fato que em alguns casos o valor do consumo durante a vida útil é tão alto que não permite ver as mudanças no gráfico após modificar algumas das condições iniciais.

Na parte inferior são mostrados dados correspondentes a cada categoria, mediante as informações recolhidas nos resumos das janelas anteriores. Isso é feito com o fim de identificar possíveis melhorias, por exemplo, no caso dos materiais, o uso de materiais mais leves, ou que requeiram menos energia na obtenção. O departamento encarregado da logística pode analisar modificações nos modais de transporte utilizados, mediante o cálculo de *trade-off* eficiente energeticamente, e que não afete o custo do produto, mudando, por exemplo, a máquina usada para o transporte, de caminhão para trem, ou otimizando o uso dos caminhões para realizar menos viagens, usando maiores caminhões

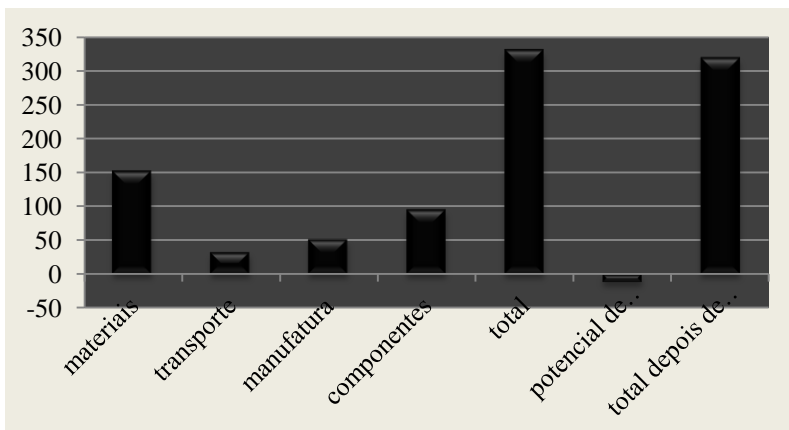
O objetivo das informações apresentadas na tela de resultados é visualizar e comparar as categorias, definir aquelas que contribuem com muita energia no produto e, de acordo com as tabelas de materiais disponíveis, simular ensaios em que essas modificações resultem em um valor menor.

Figura 3.5 Resumo da energia total (MJ)



Fonte: SEDOP-GRIMA

Figura 3.6 Resumo da energia total, sem considerar o consumo. (MJ)



Fonte: SEDOP-GRIMA

Revisando os dados apresentados nas figuras 3.5 e 3.6, observa-se que desconsiderar o consumo permite analisar as categorias envolvidas na fabricação, com maior clareza.

### 3.5. ENERGIA DESCARTADA POR TRATAMENTO INADEQUADO

A janela mais importante do programa é a chamada “Energia descartada por tratamento inadequado”. Por enquanto, o programa SEDOP apresenta uma informação da energia envolvida na manufatura e consumo energético do produto, segundo o método proposto. Entretanto, no caso da família de produtos normalizados, do tipo eco auditoria, nesta janela é acrescentada uma nova variável, que é o tempo. O valor do tempo de vida projetado pelo fabricante, segundo mostrado no capítulo 2, corresponde à vida útil do produto, desde o momento da compra até o momento do descarte. Esse descarte pode se apresentar de acordo com os tipos de obsolescência definidos anteriormente (ciclo de vida, compatibilidade tecnológica, estilo). Mesmo que o tempo de vida possa ser considerado como um todo, na verdade este será o caso somente quando o produto é composto por uma única peça. Entretanto, quando o produto é composto por mais de uma peça, mais de um material ou mais de um módulo, o tempo de vida do produto é definido pela composição dos tempos de vida individuais dos componentes do produto, criando assim um perfil em que cada módulo ou componente terá seu próprio tempo de vida útil. Quem define a duração do produto é o componente não substituível ou cuja substituição requer um custo tão elevado que não compensa a aquisição de outro novo.

O foco da análise é a consideração que, quando essa peça quebra, terminando a vida útil do produto, as outras peças ainda têm um tempo de uso aproveitável e que usualmente não é mensurado, quando se descarta para substituição. E é nestas peças que a energia será descartada inadequadamente, dado o descarte antecipado devido à obsolescência programada.

O programa SEDOP apresenta a informação da quantidade de energia descartada após a quebra do componente limite. A figura 3.7 mostra dados correspondentes a um produto ilustrativo, composto pelos seguintes módulos: motor elétrico, PWB, tela, componentes plásticos, componentes metálicos, bateria, cabo e transporte primário e secundário. Os tempos de vida aproximados foram inseridos considerando valores encontrados durante a revisão documental, e o simulador foi alimentado considerando cada um dos passos do método. Os campos que solicitam informações ao usuário são: (a) a coluna O/x, que indica a presença ou não do módulo no equipamento, trazendo automaticamente o dado da janela correspondente: este passo foi incluído considerando a possibilidade de análises posteriores do projetista, desconsiderando

alguns dos módulos presentes no equipamento, na procura de melhorias específicas; (b) a coluna *lifespan/y* (*years* - anos), que corresponde ao tempo de vida útil do módulo, dado que é conhecido pelo fabricante.

Figura 3.7 Energia descartada por tratamento inadequado

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada					
Modulo	0/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP
Motor	0		99	94	
Electric motor	x	2,4	10	5	2,4
PWB	x	16,7	8	3	16,7
Tela	x	16,1	7	2	16,1
Heater	0	0,0	99	94	0
Plastic parts	x	4,1	20	15	4,1
Metal parts	x	0,1	50	45	0,1
Bateria	x	7,5	5	0	0
Cabo	x	1,2	10	5	1,2
Transporte	x	4,4	8	3	4,4
Total		52,5			45,0

Life span / anos	5
Energia total	52,52
Energia /mês	0,875
tempo de uso /mes	12
potencial energetico	42,01

Fonte: SEDOP-GRIMA

Após preencher o tempo de vida dos módulos, o programa SEDOP calcula o tempo de vida útil restante de cada módulo no momento da quebra do componente limite. Este valor aparece na coluna próximo LS (novo *lifespan* dos módulos após a quebra do componente limite), e isso é feito com a finalidade de identificar qual seria o próximo componente a apresentar uma quebra, caso puder ser feita a substituição do primeiro componente, e assim sucessivamente.

No caso mostrado na figura 3.7, se for descartado o produto quando ocorrer a quebra da bateria (que seria a peça com menor tempo de vida), sobre um total de 52,5 MJ requeridos na manufatura e transporte, seriam descartados 45 MJ referentes à soma das energias consumidas pelos componentes restantes que ainda se encontram na faixa de tempo de vida útil. Esse valor aparece na célula laranja da coluna do programa marcada como EDOP (Energia Descartada dada Obsolescência Programada), e pode-se ver como exemplo o módulo mostrado na figura 2.4. Esse valor precisa ser corrigido, uma vez que, quando ocorre a quebra, os módulos funcionais possuem um tempo de

uso e, portanto, é necessária a aplicação do conceito de energia distribuída ao longo do tempo de uso da peça, o qual será descrito abaixo.

Tendo em vista que a obsolescência programada não atinge somente o descarte por quebra de componentes, mas também os outros tipos de obsolescência vistos no capítulo 2 se inclui no programa mais uma variável, denominada energia embutida anualizada (EEA) (Hernandez, 2010), a qual analisa o consumo energético realizado na fabricação+, distribuindo-o no tempo mínimo que deveria durar em uso.

Voltando ao caso ilustrado na figura 3.7, o valor da energia contida no produto no momento da compra pelo usuário é de 52 MJ, e se o tempo mínimo de vida útil projetado for de 5 anos, essa relação energia/tempo pode ser expressa como uma densidade energética de 10,5 MJ por ano, ou 0,875 MJ por mês. Isso não significa que, depois de um mês de uso, a energia embutida no aparelho tenha diminuído para 51,125 MJ, ou que depois de 5 anos o produto não possua nenhuma energia embutida. O que esse valor representa é a distribuição da energia embutida no tempo de serviço do produto, e quanta energia corresponde a cada período de tempo de uso no subsistema *gate to grave* (ou *gate to cradle* no caso dos materiais recuperados). Esse valor não será considerado uma carga energética a ser esgotada ao longo do tempo, mas uma característica própria do produto. Em outras palavras, não se considera o produto como uma bateria carregada que vai perdendo a energia embutida ao longo da vida útil, mas como um valor indicativo da sustentabilidade do mesmo.

Os valores obtidos no cálculo da energia descartada são recalculados incluindo a energia embutida anualizada, considerando o tempo de uso que já possuem, quando descartado o produto pela quebra do componente de menor tempo de vida. O programa SEDOP gera os valores individuais de energia embutida anualizada de cada módulo e multiplica pelo respectivo tempo restante de vida, e o novo resultado é mostrado na interface (ver figura 3.8). Nesse caso, o novo valor é significativamente menor, igual a 17,5 MJ.

Figura 3.8 EDOP corrigida pelo fator anualização.

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	O/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Motor	0				0,0	0,0
Electric motor	x	2,4	10	5	2,4	1,2
PWB	x	16,7	8	3	16,7	6,3
Tela	x	16,1	7	2	16,1	4,6
Heater	0	0,0	99	94	0	0,0
Plastic parts	x	4,1	20	15	4,1	3,1
Metal parts	x	0,1	50	45	0,1	0,1
Bateria	x	7,5	5	0	0	0,0
Cabo	x	1,2	10	5	1,2	0,6
Transporte	x	4,4			4,4	1,7
Total		52,5			45,0	17,5

Life span / anos	5
Energia total	52,5
Energia /mês	0,875
tempo de uso /mes	60
potencial energetico	0

Fonte: SEDOP-GRIMA

A variável EEA muda ao longo do tempo devido ao uso do produto, uma vez que ela expressa a relação de aproveitamento durante a vida útil. Quanto mais baixa for essa relação, menor o impacto, e ela é representada no programa como potencial de descarte energético, caso o produto seja substituído antes de chegar ao tempo projetado para o fim da sua vida útil. O potencial de descarte energético pode ser negativo, o que corresponde ao caso em que se prolonga o uso do produto além do tempo esperado para substituição.

A figura 3.9 mostra a variação no potencial descarte energético para o caso ilustrado na figura 3.7 em três estágios diferentes da vida útil do produto analisado. Os valores fixos nos três momentos são: o tempo de vida de 5 anos, a energia total de 52,52 MJ, e a relação energia/tempo de 0,875 MJ/mês. No primeiro quadro, no qual o tempo de uso do produto é igual a zero, o potencial energético possui um valor de 52,52 MJ e, nesse caso, se o produto for descartado, a energia será igual àquela do produto completo. No segundo quadro, o produto já foi usado durante 48 meses e, se o descarte for feito nesse momento, ainda faltam 12 meses para chegar ao limite de vida útil do produto, portanto o potencial descarte energético é igual a 10,5 MJ, que representa 1/5 da energia consumida na fabricação do produto. Assim, pode-se inferir que, se 5 produtos iguais forem descartados após 48 meses de uso, terá sido descartada a energia correspondente a um produto completo.

Figura 3.9 Energia embutida anualizada em diferentes estágios da vida útil do produto

Life span / anos	5	Life span / anos	5	Life span / anos	5
Energia total	52,52	Energia total	52,52	Energia total	52,52
Energia /mês	0,875	Energia /mês	0,875	Energia /mês	0,875
tempo de uso /mes	0	tempo de uso /mes	48	tempo de uso /mes	61
potencial energetico	52,52	potencial energetico	10,5	potencial energetico	-0,875

Fonte: SEDOP-GRIMA

No quadro da direita da Figura 3.9, o tempo de uso já ultrapassa o tempo de vida projetado (que é de 60 meses). Como resultado, na célula de potencial energético descartado o valor que aparece é negativo, e isso significa que está se usando o potencial energético correspondente ao outro produto que iria substituir o primeiro, o que implica uma economia de energia mediante o prolongamento do uso do produto original. Em termos quantitativos, o valor resultante é igual a 0,875 MJ (ou 1/60), e isso significa que se 60 produtos ultrapassarem em um mês o tempo de vida projetado, se economizará a energia correspondente a um produto completo.

### 3.6. DADOS OBTIDOS NO PROGRAMA SEDOP

Após o término da simulação, os resultados obtidos para auxiliar na tomada de decisão são:

- Dado energético de eco auditoria;
- Dado de consumo energético de materiais;
- Dado de consumo energético na manufatura;
- Dado de consumo energético no transporte;
- Dado de consumo energético no consumo;
- Dado de potencial energético recuperável nos materiais;
- Valor da energia descartada por quebra do componente limite;
- Valor da energia descartada devido a obsolescência programada.

Os dados obtidos nas janelas do simulador permitem analisar o impacto no consumo energético:

- Mediante a redução de massa dos materiais;
- Sugerir a mudança de um material por outro que requer uma mineração e processamento que consuma menos energia;

- Trocar o modal de transporte das matérias-primas, ou a logística de distribuição dos produtos elaborados, procurando, por exemplo, fornecedores mais próximos ao local de fabricação;
- Realizar processos de otimização no leiaute de chão de fábrica, comparando quantitativamente o consumo energético após as modificações e a realização de *trade-off* que conduza melhorias na manufatura dos produtos.

As análises apresentadas nas seções anteriores são normalmente feitas em uma eco auditoria, mas mediante o programa SEDOP podem ser realizadas análises adicionais. As duas últimas variáveis obtidas no programa SEDOP: valores da energia descartada por quebra do componente limite, e valor da energia descartada devido à obsolescência programada, permitem inferir porque o uso do produto e a projeção planejada pelo fabricante podem ser mais transcendentais do que o mesmo uso das 4R vistas no capítulo 2. Por exemplo, no caso de uma chaleira (Ashby, 2009), (ver Tabela 3,1), tem-se uma energia em materiais de 140 MJ, em processos de 10 MJ, e em transporte de 129,4 MJ. Segundo Ashby (2009) também aponta que a energia consumida no uso da chaleira é igual a 1800 MJ, e ela é descartada no aterro. Entretanto, duas condições iniciais do exemplo de Ashby (2009) são alteradas para melhorar a análise: primeiro, a energia consumida pela chaleira não modifica os dados obtidos e, por isso, ela é desconsiderada; segundo, os materiais que compõem a chaleira se recuperarão para reuso, o que permite analisar quanta energia pode ser salva tendo em vista as 4R, os materiais recuperados são: (cobre= 0,015 kg; latão= 0,03 kg; aço inoxidável= 0,09 kg).

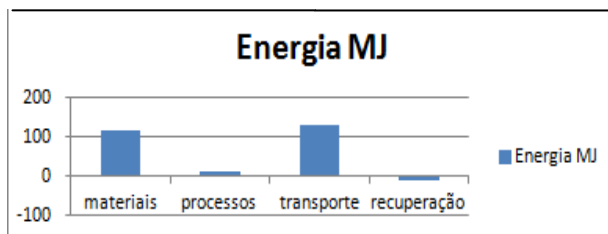
Tabela 3.1 Condições iniciais do caso da chaleira

<i>Operação</i>	<i>MJ</i>
Materiais	114
Processos	10
Transporte	129
Recuperação	-10,51

Fonte: Adaptado de (Ashby, 2009)



Figura 3.10 Condições iniciais do caso da chaleira



Fonte: SEDOP-GRIMA

Pode-se, então, realizar diferentes considerações, inserindo dados no simulador de energia descartada, obtendo-se os valores das variáveis consideradas. (ver figura 3.10) O valor energético recuperável para os três materiais é de 10,51 MJ.

- Se, quando ocorrer a quebra do componente limite, os módulos e materiais que ainda se encontrarem no período de vida útil superarem o valor energético de 10,51 MJ, o descarte de energia supera a energia recuperada pela reciclagem.
- A energia embutida anualizada ao longo da vida útil será calculada somando-se a energia de materiais= 114 MJ, processos= 10 MJ, transporte= 129 MJ, e subtraindo a energia recuperada nos materiais após o descarte=10,5 MJ. O valor resultante é de 243 MJ, e esse valor dividido em 36 meses de vida útil resulta em 6,36 MJ/mês. Isto significa que, quando faltarem apenas dois meses para o tempo de vida projetado, o índice de potencial energético desperdiçado será equivalente à energia recuperável dos materiais pela reciclagem. Antes desse ponto, a energia não aproveitada pelo descarte será maior que a energia economizada nos materiais.
- A variável EEA permite quantificar o valor de energia equivalente ao tempo de uso, que vai além do tempo de vida projetado.

Explicado de um modo gráfico, na figura 3.11, é possível observar a energia que esta sendo descartada, quando o produto é substituído antes de ter atingido o tempo projetado de vida útil pelo fabricante. Representado pelo bloco definido entre os pontos (a) e (b), e que por coexistir simultaneamente com o segundo produto, durante o tempo de uso projetado, possui uma redundância energética.

Na figura se observa como o ponto A marca o descarte do produto devido à obsolescência programada, e marca a compra do produto 2. Então durante os últimos doze meses do tempo de vida do produto 1 e os doze primeiros do produto 2 a energia embutida está sendo duplicada (ou replicada) desnecessariamente, o que se repete no ponto C com a compra do produto 3.

Se a energia consumida total por produto, é igual a 52,52 MJ distribuída nos 5 anos (60 meses) de vida útil, gera-se uma energia embutida anualizada de 10,54 MJ/ano, durante o tempo de simultaneidade (A-B) o valor da energia descartada pela obsolescência será 10,54 MJ.

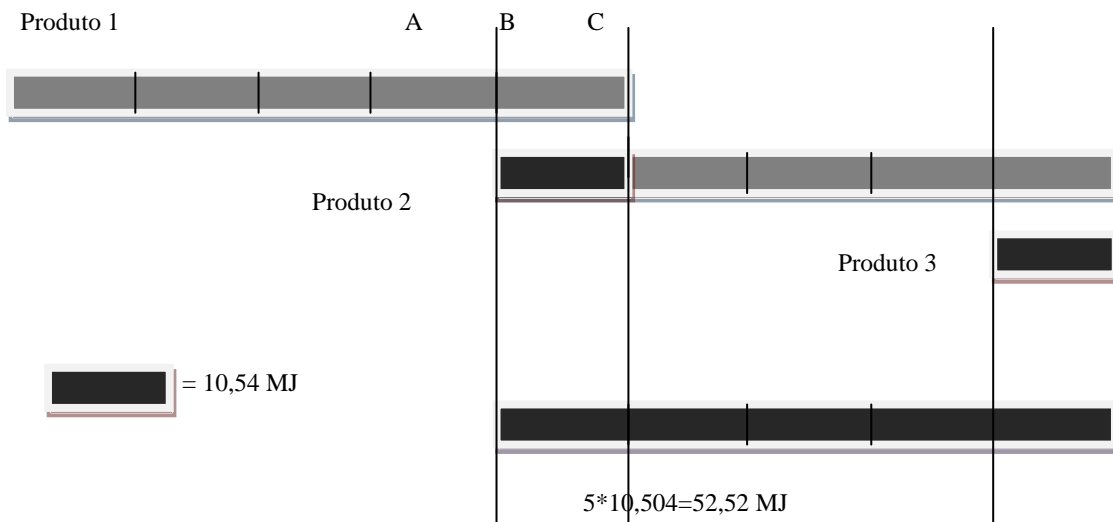
O investimento total energético foi de 115,94 MJ, mas devido ao tempo simultâneo onde existem os três produtos, a energia embutida anualizada passou de 10,54 MJ/ano pra 12,88 MJ/ano, uma vez que o tempo de vida compartilhado passou de cinco anos por produto para nove em dois produtos.

No momento da compra do produto pela sexta vez mantendo as condições de descarte já foi descartado o equivalente ao um produto completo.

Tempo de vida do produto: 5 anos

Energia consumida na fabricação de cada produto: 52,52 MJ

Figura 3.11 Energia coexistente no tempo redundante, dado descarte antecipado.



Fonte: Elaborado pelo autor



## **4. MÉTODO PARA CALCULAR A ENERGIA DESCARTADA POR USO INADEQUADO DEVIDO À OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA**

### **4.1. ESCOLHA DA FAMÍLIA DE PRODUTOS**

O método proposto fundamenta-se, inicialmente, em uma plataforma física comum para um número considerável de produtos que compartilham a maior quantidade de características possíveis, permitindo normalizar uma lista de materiais (BOM) comum. A análise metodológica é feita por um programa aplicável não somente a um caso particular de produto, mas também para uma ampla gama de produtos similares, partindo do geral ao particular. O hardware comum proporciona oportunidades para comparar tecnologias, recursos e materiais durante a análise posterior, gerando a opção de melhorias e propostas na tomada de decisões. Além disso, a disponibilidade das informações também foi levada em consideração, uma vez que outros possíveis produtos não possuíam acesso tão aberto quanto à família escolhida para este trabalho.

Levando em consideração essas características, assim como o tempo reduzido do tempo de vida, foi definido um produto eletrônico que permite visualizar os ciclos de vida completos dos produtos integrantes da família. A concorrência legal (patentes) proporciona que as empresas de manufatura disponibilizem as informações na internet, fato esse que foi de grande auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Conforme mencionado no capítulo anterior, os *smartphones* possuem as características apropriadas, tanto teóricas quanto tecnológicas, necessários para este trabalho. Algumas destas características e justificativas são as seguintes:

- a) Plataforma física comum: o PWB é o elemento comum e absolutamente imprescindível do hardware em que serão montadas as peças restantes, que variam em modelo e funções desenvolvidas pelo fabricante.
- b) Ciclo de vida curto: 3-5 anos (vida física) (Craig, 2009) e 2-3 anos (vida funcional).
- c) Acesso às informações liberado para uso público (Projeto piloto de políticas integradas para produtos, opções para melhorar o ciclo de vida do desempenho ambiental dos telefones móveis) (Nokia 2005)

- d) Disponibilidade de informações das datas de atualização de software dos sistemas operacionais já obsoletos (IOS 3, Android Froyo)

Os argumentos anteriores apontam para a escolha da família de *smartphones* para a análise, com data de saída ao mercado de 2010 a 2013.

#### 4.2. PRODUTOS ESCOLHIDOS PARA COMPOR A FAMÍLIA

Os produtos escolhidos e utilizados na análise foram:

- Iphone 4. Fabricante Apple, ano de lançamento 2011.
- Iphone 5. Fabricante Apple, ano de lançamento 2012.
- Galaxy S3. Fabricante Samsung, ano de lançamento 2012.
- Galaxy S4. Fabricante Samsung, ano de lançamento 2013.
- HTC Droid. Fabricante HTC, ano de lançamento 2010.
- Motorola Razr. Fabricante Motorola, ano de lançamento 2011.
- Nokia Lumia. Fabricante Nokia, ano de lançamento 2012.

Cada aparelho representa o produto mais vendido da marca, para as marcas que mais venderam *smartphones* no período estudado, excluindo o Black Berry, que não compartilha as características base, necessárias para a normalização dos produtos, assim como o *smartphone* produzido pela marca ZTE, devido à falta de informação disponível (IDC, 2013). Nesta metodologia, o objetivo de escolher múltiplos equipamentos para análise, não é realizado com o objetivo de comprar os produtos diretamente, mas sim ter acesso a múltiplas opções de informação técnica sobre as peças, para escolher as mais confiáveis, e com elas alimentar a ferramenta. Por isso, os resultados não apresentam, qual produto é mais sustentável, mas como medir esse indicador.

#### 4.3. ATRIBUTOS PRIMÁRIOS

O seguinte passo consiste em definir os atributos primários do produto, que correspondem às funções de uso esperadas pelo comprador, sem as quais não atingiria o escopo desejado. Esses atributos devem ser comuns a todos os integrantes da família, motivo pelo qual o Black Berry foi desconsiderado para formar parte da família. Busca-se escolher somente os componentes necessários para a tabela

comum, descartando as características que não fazem parte do conceito do produto. Os atributos primários definidos foram:

- Tela tátil;
- Memória externa;
- Interação usuário telefone;
- Portabilidade;
- Capacidade de transformar dados em sinais para serem enviados ou recebidos;
- Receber/fazer ligações;
- Sistema operacional com aplicações;
- Conectividade a internet;
- Módulo câmera;
- Possibilidade de desligar ou ligar componentes isolados para economizar carga no *smartphone*.

A lista de atributos primários é elaborada para definir os componentes que permitem a sua execução, permitindo desconsiderar aqueles que não são comuns à família de produtos.

#### 4.4. LISTA DE MATERIAIS COMUNS

Cada um dos aparelhos possui características próprias que os diferencia dos outros, tanto no hardware como no software, características essas que o usuário percebe. Essas características especiais são especificadas nas listas de materiais (BOM) individuais dos produtos, as quais incluem: a capacidade da câmera, tipo de processador, capacidade da memória, tamanho da tela, capacidade da bateria, o sistema operacional, dentre outras (Figura 4.1). Além disso, pode-se notar a disponibilização de informações úteis para agrupar os atributos primários do produto, que são importantes na separação dos módulos.

Figura 4.1 BOM Iphone 4

## Preliminary Bill-of-Materials Summary for Apple iPhone 4 CMTA Smart Phone\*

Function	Manufacturer	Part Number	Description	Cost
Memory				\$40.40
Includes	Samsung	K9HGD08U5A-LCB0	Flash - NAND, 16GB, MLC	
	Samsung	K4265J1PB-50-F	SDRAM - Mobile DDR, 4Gb, PoP (Assumption - Two Dies, To Be Verified)	
	Toshiba		MCP (To Be Verified)	
Display / Touch Screen				\$37.80
Includes	Display Module - 3.5" Diagonal, 16M Color TFT, 960 x 640 Pixels			
	Touchscreen Assembly - Aluminosilicate Glass, Painted, w/ Integral Flex PCB, & Board to Board Connector			
Mechanical / Electro-Mechanical				\$19.97
Includes	Includes - PCBs, Enclosure Plastics, Glass & Metals, Etc.			
Baseband / RF / PA (Including GPS)				\$16.41
Includes	Qualcomm	MDM6600	Baseband / RF Transceiver - Dual-Mode, CDMA2000 1xEVDO/HSPA+	
	Skyworks	SKY77711-4	PAM - CDMA 1900	
	Skyworks	SKY77710-4	PAM - CDMA 800	
Camera				\$13.70
Includes	Camera Module Value Line Item - 5MP CMOS, 1/3.2" Format, OmniVision BSI Image Sensor (Assumed), Auto Focus Lens			
	Camera Module Value Line Item - VGA (To be Verified) CMOS, 1/10" Format, Fixed Lens			
Bluetooth / WLAN				\$8.27
Includes	Murata (Module)		Murata Module containing Broadcom BCM4329 WLAN/BT/FM Chip	
Applications Processor				\$8.46
Includes	Samsung	APL0398	"A4" Applications Processor - ARM Core, 45nm,	
User Interface				\$8.18
Includes	STMicroelectronics	L3G4200D	Gyroscope - 3-Axis, Digital	
	Cirrus Logic	CS42L61	Audio Codec - Ultra Low Power, Stereo, with Headphone	
	Texas Instruments	F761588C	Touchscreen Controller	
	AKM Semiconductor	AKM8975B	Electronic Compass - 3-Axis, with Built-In ADC & 8-Bit	
	STMicroelectronics	LIS331DLH	Accelerometer - MEMS 3-Axis, ±2g/±4g/±8g, Digital Output	
User Interface				\$6.50
Includes	Qualcomm	PM8028	Power Management IC	
	Dialog Semiconductor	D1815A	Power Management IC	
	Also includes assorted analog ICs, discrete semiconductors (diodes, transistors) and passive components in			
Battery				\$6.00
Includes	Amperex (To Be Verified)		Battery Cell - Li-Ion Polymer, 3.7V, 1420mAh	
Box Contents				\$5.66
Includes	USB Charger, Cable, Handsfree Accessory, Etc.			
Total BOM (Materials Only)				\$171.35
Estimated Manufacturing Costs				\$7.10
Total BOM (Materials Only)				\$178.45

Source - IHS iSuppli

\*This preliminary cost assessment accounts only for hardware and Manufacturing costs and does not take into consideration other expenses such as software, licensing, and royalties.

Fonte: IHS Technology (2010)



Na lista de materiais (BOM) pode-se identificar a função da peça, a empresa fabricante, o número de referência, a descrição e o custo do componente. As listas de materiais de cada um dos produtos são apresentadas no Anexo 1, e foi feita uma comparação dessas listas considerando-se os atributos primários do produto e as características físicas requeridas nos aparelhos, que são muito semelhantes. Assim, pode-se obter um BOM comum (normalizado), o qual deve ser obtido para qualquer família a qual se queira analisar no futuro.

Os componentes que permitem o funcionamento dos atributos primários são:

- *Display touch screen*
- Memória
- Interface
- Bateria
- *Baseband*
- RF/PA
- Processador de aplicações
- Conjunto WLAN
- Câmera
- Administrador de energia

Na lista de materiais comum resultante, mostrada na tabela 4.1, podem-se identificar as peças que compõem cada um dos requerimentos descritos anteriormente, uma vez que pode se precisar de mais de uma peça por cada atributo. Por exemplo, para satisfazer o requerimento interface precisa-se dos seguintes componentes: giroscópio, acelerômetro, controlador T.S. e transmissor LVDS. Após padronizar a lista de peças comuns para todos os equipamentos, e as requeridas por componente para satisfazer o atributo, a família de produtos é representada pela lista de materiais construída, e será analisada ao longo desta dissertação.

O próximo passo consiste na distribuição dos componentes comuns nos módulos. Conforme os conceitos de modularização, módulos são subsistemas independentes que interagem entre si trocando fluxos de energia, massa ou informação. Outro motivo para realizar uma comparação entre as listas de materiais individuais consiste em se ter pelo menos um fornecedor por componente. Por exemplo, na categoria do processador, pode-se encontrar os seguintes fornecedores: Apple, Samsung, Qualcomm e Texas Instruments. Desse modo, as

possibilidades de obtém-se informações para inserir dados no programa SEDOP são maiores.

Em resumo, a tabela 4.1, que foi construída através dos BOM de fabricação, mostra os oito equipamentos considerados para a análise nesta dissertação, subdividindo o funcionamento do *smartphone* nos atributos primários estabelecidos para satisfazer a definição vista no item 2.9. Esses atributos estão categorizados nas peças físicas requeridas para o seu funcionamento. Por sua vez, o conteúdo interno da tabela mostra a empresa que fabrica a peça que integra cada equipamento (Produto: Iphone 4, atributo: Interface, peça física: acelerômetro, fabricante: LS microelectronics). Como apontado anteriormente, a finalidade da tabela consiste em definir os componentes comuns para a realização da análise da família, conseguindo assim desconsiderar características individuais de alguns produtos (por exemplo, o carregador de energia solar do *smartphone* da Motorola).

Outra vantagem proporcionada pela tabela 4.1 é a possibilidade de ter opções de consulta das características dos componentes fabricados por cada fabricante, uma vez que nem todas elas disponibilizam informações específicas dos produtos, bem como a capacidade de realizar análises comparativas dentre as peças destinadas a cumprir a mesma função.

Tabela 4.1 BOM comum resultante da comparação da família de produtos.

Família	Display e Touch screen	Memória	Mecânica	Interface	Bateria	Baseband	RF/PA	App Processador	BT/FM/GPS WLAN	Câmera	Acessório	Power Management	
												Power management IC	Li-ion charger
Attrib prim.	Display/module	Flash/MP3 card	PCB Metals Plastic Connector	Gigaset	LiOS	Baseband	RF Transceiver	Processador de App multimídia	Bluetooth/FM/WLAN	GPS receiver	Headset	Maxim	Qualcomm
	Touch screen	DRAM	PCB Metals Plastic Connector	Academico	T.S. controller	Baseband	RF Transceiver	Processador de App multimídia	Bluetooth/FM/WLAN	GPS receiver	Headset	Maxim	Qualcomm
Galaxy 3	Samsung	Samsung	Samsung	ST	Texas Instrument	Infinion	Infinion	Samsung	Murata	Broadcom	QMP	QMP	Qualcomm
iPhone 4	Samsung	Samsung	Samsung	ST	Texas Instrument	Qualcomm	Qualcomm	Samsung	Murata	Broadcom	QMP	QMP	Qualcomm
iPhone 4	Japan display/ LG	Broadcom/ Texas Instrument	Hyun	ST	Microelectronic	Qualcomm	Qualcomm/Rf micro	Apple	Murata	Qualcom	QMP	QMP	Qualcomm
HTC droid	Samsung	Samsung	Hyun	ARM	ARM	Qualcomm	Qualcomm	Qualcomm	Broadcom	Qualcom	QMP	QMP	Qualcomm
Motorola Razr	Samsung	Toshiba	Nuonix	ARM	ARM	Qualcomm	Qualcomm	Texas inst	Texas inst	Broadcom	QMP	QMP	Qualcomm
Nokia lumia	Samsung	Microc	Epida	ARM	ARM	Qualcomm	Qualcomm	Qualcomm	TDK	Broadcom	QMP	QMP	Qualcomm
Galaxy S4	Samsung	Toshiba	Samsung	Yamaha	ARM	Qualcomm	Intel	Qualcomm	Broadcom	Broadcom	QMP	QMP	Qualcomm

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após analisar a lista dos componentes comuns, precisa-se realizar a separação dos módulos físicos que compõem o produto, de acordo com as interações e sistemas que os limitam. No caso do *smartphone*, são eles:

- Módulo display: composto pelos seguintes componentes: módulo display e *touch screen*. Fabricantes: Samsung, Japan Display, LG.
- Módulo bateria: Composto pelo componente bateria. Fabricantes: Samsung, Dynapack Tech, Sony, Motorola.
- Módulo carregador: Composto pelo cabo, PWB do carregador e a carcaça plásticos de cobertura. Fabricantes: Texas Instruments, Maxim.
- Módulos de complemento: Componentes necessários para satisfazer os atributos primários, mas independentes dos outros módulos na montagem, os quais são neste caso:
  - Câmera. Sharp, LG, foxcoon, SEMCO.
  - Motor elétrico. N/I
- Módulo placa mãe: Composto pelo PWB, Memória, Interface, Baseband, Processador, BT/FM/GPS/WLAN, RF/PA, Power IC. Alguns deles são compostos por outros subsistemas especificados na tabela 4.1. Fabricantes: Skandisk Hynix, Num Onix, Lépidia, Toshiba, Artmed, Cor Ning, Texas Instruments, Yamaha AKM, Microm Tech ST microelectronics, Bosch Dynapack Tech, Infineon, Intel, Apple, Broadcom, TDK, Murata, Qualcomm, Triquint.

#### 4.5. CÁLCULOS DA ENERGIA POR MÓDULO

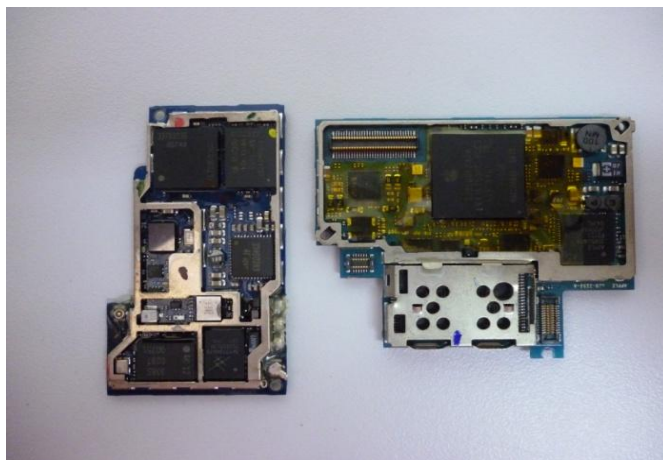
Cada módulo já separado em itens com seus componentes definidos e as empresas que manufaturam eles. A seguir, irá se calcular a energia consumida na produção de cada módulo, pesquisando através do fornecedor, as características da peça, ou através de resultados disponíveis em trabalhos acadêmicos, citados neste trabalho, uma aproximação, quando o dado não estiver disponível. Essas informações serão inseridas no SEDOP

- Módulo Motherboard (Placa-mãe)

Módulo que concentra as funções de software do produto e, como visto anteriormente, no caso dos aparelhos eletrônicos, é o responsável pela maior contribuição na soma energética no caso analisado. A base do módulo será o PWB, que será de 6 camadas dados os requisitos do produto. O PWB é calculado no simulador de acordo com a sua massa (Gutowski &

Garetti, 2010), o seu valor corresponde à fabricação da placa, o seu desenho (as linhas desenhadas que permitem a comunicação entre chips) e os passivos presentes na placa (resistores, capacitores e indutores) (Nokia, 2005). Sobre ela são inseridos os *chips* com as características necessárias para atingir as funções requeridas pelo usuário. De acordo com o método proposto, a lista de materiais e peças comuns considera os seguintes componentes: controlador de carregador de bateria, administrador de energia, processador *Baseband*, SRAM, *transerver*, módulo amplificador de energia, acelerômetro, processador de SDRAM, memória flash, interfase do display, controlador do *touch screen*, codec de som, GPS, *wireless LAN/Bluetooth*. Segundo o mapeamento dos PWB, os *chips* foram medidos e o valor da área foi inserido no simulador.

Figura 4.2 Módulo PWB Apple



Fonte: elaborado pelo autor

O módulo mostrado na figura 4.2 é composto por dois PWB, porém se considera um módulo só, uma vez que comparativamente com os outros produtos analisados, a presença de dois PWB obedece a uma distribuição de espaço no interior do equipamento e não a uma característica diferencial. A área coberta pelo semiconductor tem um valor de 7 cm<sup>2</sup> que, segundo a correlação de (Williams, 2002), vista no capítulo 2, é utilizada no cálculo da energia embutida por PWB na ferramenta (figura 3.2). Essa massa corresponderia a 7g, o que gera um valor energético

investido na manufatura dos semicondutores de **364 MJ** (52 MJ por  $\text{cm}^2$  de chip), o qual é somado a **2,19 MJ** (333 MJ por kg), como pode-se observar na figura 3.2. Este valor corresponde à montagem dos *chips* na placa, e soma-se a **6 MJ** de manufatura e desenho do PWB (0,25 MJ por chip).

- Módulo display

Os *displays* escolhidos para medição são o do *smartphone* Iphone 4 (Figura 4,.3), do Samsung Galaxy S4, e do ZTE. O valor do módulo *display*, fabricado pela empresa LG, com dimensões 76,6 mm x 51,6 mm (Apple, 2014), após ser inserido no programa gera o valor de **17,6 MJ**. O *display* da ZTE corresponde a 13,84 MJ, enquanto o *display* da Samsung 4S resulta em 29,47 MJ. Esses valores foram calculados segundo o fator visto no capítulo 2 (isto é, 3573 MJ/ $\text{m}^2$ ). Na janela processos, deve-se considerar que, durante esta pesquisa, um avanço tecnológico chamado Gorila *Glass* apareceu em dois dos produtos, que corresponde a uma tela de alta resistência a arranhaduras e fraturas. Entretanto, por motivos de propriedade intelectual, não foi possível o acesso aos dados sobre materiais ou processos de manufatura.

Figura 4.3 Módulos display ZTE, Nokia, Apple



Fonte: elaborado pelo autor

- Módulo de bateria

A bateria Li-íon Polymer escolhida (figura 4.4.centro), fornecida pela Sony, encontra-se soldada ao PWB, característica particular que fornece um cenário que será analisado em capítulos posteriores. As características técnicas da bateria são: 3,7V e 25,60 g. Estes dados foram inseridos no simulador, gerando um total de energia consumida na fabricação do componente de **1,71 MJ** (48,76 MJ por kg)

Figura 4.4 Baterias Li-ion

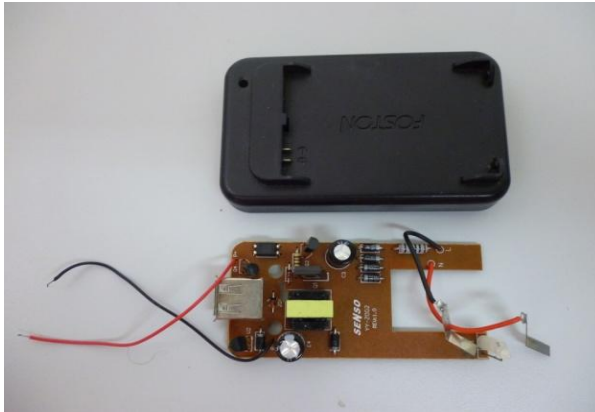


Fonte: elaborado pelo autor

- Módulo carregador

O carregador é composto por três peças: o PWB inserido na carcaça protetora, o cabo conector, e a carcaça plástica que mantém isolado o sistema. O simulador calcula a energia resultante da soma dos componentes, sendo que as massas foram: cabo = 35 g, carcaça = 20 g, PWB = 15 g. O resultado do programa foi **8,6 MJ**. (Figura 4.5)

Figura 4.5 Exemplo módulo carregador

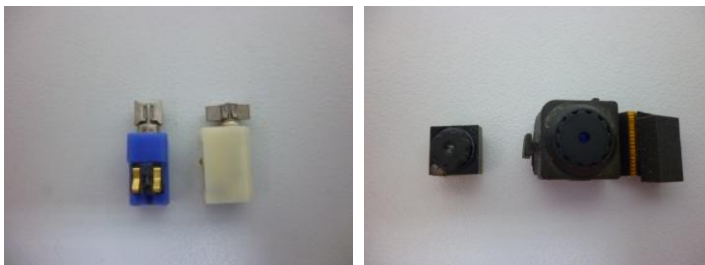


Fonte: elaborado pelo autor

- Módulos complementares

Nestes módulos estão inclusos o motor elétrico (com uma massa de 5g), e a câmara frontal e traseira (a primeira com área de  $0,8\text{cm}^2$ , e a segunda com área  $0,25\text{cm}^2$ ). Figura 4.6. Conforme mostrado no capítulo 3, o módulo câmara é considerado um empacotamento de *chip*, formado pelos componentes: lente, sensor de imagens, e processador de imagens, os dois últimos com material *core* de *wafer*. Nesse caso, a energia calculada da câmara principal foi igual a **31,2 MJ**, e da câmara secundária igual a **9,6 MJ**. Por outro lado, o motor possui uma massa de 5 g, que quando inserido no programa SEDOP resulta em um valor igual a **0,24 MJ**.

Figura 4.6 Motor elétrico e câmeras principal e secundária



Fonte: elaborado pelo autor



- Módulo mecânica

Este módulo é definido nas listas de materiais fornecidas (Figura 4.7), o qual é composto pelos metais, plásticos e conectores, possuindo peças em alumínio, latão, ABS, poliestirenos, dentre outros (Nokia, 2005). As quantidades não são fornecidas pelos fabricantes e, portanto, foi preciso realizar as respectivas medições: os materiais disponíveis foram pesados numa balança digital. Considerando que o material com maior conteúdo energético na lista é o alumínio, e que segundo (UL, 2011) o conteúdo médio por telefone se aproxima de 5,5% do peso total (6,6 g), isso resulta em um valor energético de **1,45 MJ**. A relação da energia embutida no módulo confere 80% do valor ao alumínio, então segundo a regra do Pareto 80-20, o valor do módulo se aproximará a **2 MJ**.

Figura 4.7 Exemplos dos módulos mecânica Apple e genérico.



Fonte: elaborado pelo autor

O resultado da análise das peças, módulos, materiais e processos, é igual a **422,74 MJ**.

#### 4.6. MONTAGEM

O valor acumulado da energia consumida, **422,74 MJ**, será somado ao valor da montagem, dado fornecido pelo fabricante (Nokia, 2005) como sendo igual a **11 MJ**. O valor energético é igual a **433,74 MJ**.

## 4.7 TRANSPORTE

No caso do transporte de componentes e materiais, é difícil calcular a quantidade total dos mesmos. Um exemplo disso pode ser visto no informe da Nokia apresentado para União Europeia em 2005: “Como empresa globalizada, a Nokia possui parceiros em todo o mundo”. Conforme visto no item 2.4.3, a análise do transporte primário (*cradle to gate*) e secundário (*gate to consumer*) poderia ser realizada apenas pela empresa fabricante, que conhece cada um dos transportes requeridos desde os fornecedores até a fábrica e desde o portão até o consumidor final, sobre os modais, distâncias e peso dos produtos, apresentando dificuldades para um analista externo.

Porém, empresas como Nokia e Siemens (Nokia, 2005) disponibilizam também informações sobre o investimento energético em transporte, considerando que o transporte primário consome um valor de 5% da energia total e o transporte secundário, 6%. Isso resulta em um total de 11%, que para o caso estudado, sobre o valor total calculado de **433,74 MJ**, resulta em **47,71 MJ** correspondente ao transporte.

## 4.8 TOTAL DE ENERGIA

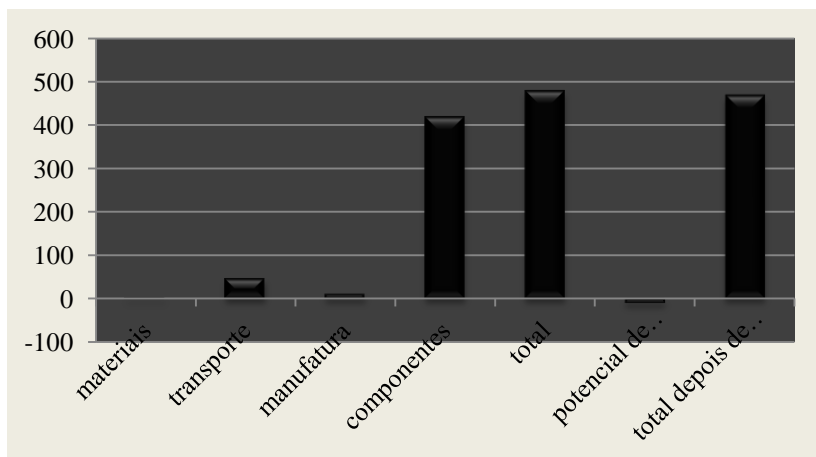
Após calcular a energia contida nos materiais do produto, nos componentes terceirizados, na manufatura, e no transporte, a energia embutida no produto é de **481,45 MJ**. Os materiais que são usualmente recuperados são: ouro, alumínio e cobre que são também os de maior investimento energético. Segundo (UL, 2011), o valor energético do ouro em um *smartphone* é de 10 MJ, e segundo (Ashby, 2009) a energia recuperada nos outros dois materiais, de acordo as tabelas desenvolvidas por ele, é de 0,12 MJ (6,6 g) para o alumínio, e 0,10 MJ (20 g) para o cobre. O primeiro valor conseguido, sem considerar a recuperação dos materiais no fim da vida útil, é de 481,45 MJ. Considerando-se a recuperação este valor será de 471,45 MJ, Como pode se observar na tabela 4.2 e na figura 4.8.

Tabela 4.2 Valores do dado de eco auditoria.

Materiais	2 MJ
Transporte	47,29 MJ
Manufatura	11 MJ
Componentes terceirizados	420,74 MJ
Total	481,45 MJ
Potencial de recuperação	10,22 MJ
Total após de recuperação	471,45 MJ

Fonte: SEDOP-GRIMA

Figura 4.8 Dados eco auditoria



Fonte: SEDOP-GRIMA

#### 4.7. TEMPO DE VIDA POR MÓDULOS

Cinco módulos foram identificados e analisados, e para cada um deles foram quantificados a energia consumida, os dados de transporte e a montagem final. Os resultados foram os seguintes, em ordem decrescente de energia:

1. Motherboard: 372,2 MJ
2. Câmera frontal e traseira: 15,6 MJ + 4,8 MJ
3. Display: 17,6 MJ
4. Carregador: 8,6 MJ
5. Mecânica: 2 MJ
6. Bateria: 1,71 MJ
7. Motor elétrico: 0,24 MJ

Na tabela 4.3 os tempos de obsolescência para a *motherboard*, a câmera e o *display* são calculados como visto no capítulo 2, uma vez que são compostos por semicondutores. Para a bateria, o tempo de obsolescência se mede em ciclos de vida útil (Dimitrijevic, 2011), enquanto para o motor em horas de trabalho, e para a mecânica em tempo de desgaste físico (Seiders, 2007). O valor resultante nunca será menor que o *lifespan* de outro dos módulos do produto. Finalmente a tela (*display*) possui um *lifespan* de 11 anos em media considerando 10 horas de uso por dia. (Hewlett Packard, 2001)

Tabela 4.3 Tempo de obsolescência por módulos

<i>Motherboard</i>	<i>Display</i>	<i>Câmera</i>	<i>Bateria</i>	<i>Carregador</i>	<i>Mecânica</i>	<i>Motor</i>
3 anos	9 anos	3 anos	2 anos	3 anos	<i>Lifetime</i> <sup>1</sup>	20 anos <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os dados de eco auditoria prontos, obtidos a partir dos resultados apresentados nos itens 4.6 e 4.7, pode-se analisar diversas condições de melhoria nos materiais, transportes, processos e módulos. No

---

<sup>1</sup> (Seiders, 2007)

<sup>2</sup> (Barnes, 2003)

capítulo 5 será feita a análise da energia descartada por tratamento inapropriado, dada a obsolescência programada.

Estabelecidos os valores resultantes e necessários para a análise, a seguir se categoriza os passos seguidos e que definem a metodologia proposta para o primeiro estágio que é de obtenção de dados.

- Escolha da família de produtos a analisar, segundo objetivo da pesquisa.
- Definição dos produtos pertencentes a família escolhida, pelo interesse particular, ou pela acessibilidade aos dados fornecidos
- Análise de atributos primários comuns inerentes à família de produtos, para descartar informações que não se enquadram na pesquisa.
- Atribuição e distribuição, dos componentes de hardware, que satisfazem cada um dos atributos especificados no item anterior.
- Construção da tabela BOM comum segundo os itens: modulo que satisfaz atributo primário, componente(s) que conforma (m) o modulo vs., a lista de produtos escolhidos. O cruzamento é preenchido com o nome da empresa fabricante da peça.
- Seguindo a tabela BOM preenchida, pesquisa-se os dados fornecidos, pelos fabricantes, o tipo de componente, p.ex.: semicondutor, mecânicos, telas, baterias, motores. Assim como as especificações técnicas do tipo materiais, tamanho, processo de fabricação, transportes primário e secundário, etc.
- Os dados conseguidos, são inseridos na ferramenta computacional, seguindo o tipo de peça, os resultados entregues pela ferramenta, como visto no capítulo 3. São, a representação de trabalhos acadêmicos prévios, realizados pelos pesquisadores citados no capítulo 2.
- Dos dados obtidos no item seis, define-se a tabela-se os *lifespan* dos módulos, identificando o modulo limite, aquele de menor tempo de vida útil.

A primeira parte da metodologia entrega como saída, os dados da energia embutida no produto, os módulos que o conformam, o tipo de componentes que integram os módulos, assim como suas fichas técnicas, e o *lifespan* projetado ou esperado para cada modulo. No capítulo 5, a metodologia

integra os resultados obtidos, gerando as informações que permitem atingir os objetivos propostos nessa dissertação.

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1. ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA

Após observar os dados apresentados pelo programa computacional, pode-se identificar a energia que compõe cada módulo, e com esses valores pode-se calcular a quantidade de energia que será descartada inadequadamente. Inicialmente será considerado o descarte do produto pela quebra do componente com menor tempo de vida. Na análise seguinte, será considerado que cada módulo não será substituível, de maneira a determinar a quantidade de energia descartada, (os componentes não presentes terão determinado um valor de lifespan de 100 anos, para não afetar as equações) Essa descrição será feita tendo como base a Figura 5.1.

Figura 5.1 Tempo zero de utilização do produto

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	O/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	11,0			11,0	11,0
Motor elétrico	x	0,2	20	18	0,2	0,2
PWB	x	392,6	3	1	392,6	392,6
Tela	x	17,6	9	7	17,6	17,6
Heater	0	0,0	100	98	0	0,0
Plastic parts	x	0,5	100	98	0,5	0,5
Metal parts	x	1,5	100	98	1,5	1,5
Bateria	x	1,7	2	0	0	1,7
Cabo	x	8,6	3	1	8,6	8,6
Transporte	x	47,7			47,7	47,7
Total		481,4			479,7	481,4

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	0
potencial energetico	481,4

Fonte: SEDOP-GRIMA

A energia total embutida aparece na soma da coluna energia, com valor de 481,4 MJ. O módulo limite é a bateria, que possui dois anos de tempo de vida, com uma energia de 1,7 MJ. Os dados do tempo de vida útil para materiais com tempos de vida muito longos ou módulos inexistentes apareceram com valor de 100 anos, o que não influi nos cálculos realizados.

No resultado da coluna EDOP bruta aparece a energia descartada inadequadamente pela quebra do componente bateria (que possui o *lower lifespan*), desconsiderando o tempo de uso dos outros módulos durante a utilização. Porém, na coluna EDOP anualizada aparece este valor corrigido, uma vez que é preciso levar em conta o valor dessa energia consumida ao longo do tempo. No momento inicial (tempo de uso zero), o valor da EDOP anualizada é igual ao valor da energia consumida, uma vez que ainda não se iniciou o seu uso.

Após 24 meses de utilização (figura 5.2), o valor da EDOP bruta se mantém em 479,7 MJ, enquanto que o valor corrigido pelo fator de uso anualizado mostra o valor real descartado igual a 207,1 MJ.

A partir daí, se considera que o módulo bateria já estará ultrapassando o tempo projetado de vida útil, que, devido a uma boa utilização e manutenção adequada, ainda se encontra funcional.

Figura 5.2 Tempo de utilização do produto: dois anos

Energia descartada por tratamento inadequado dada obsolescência programada						
Modulo	O/x	energia	lifespan/y	proximo LS	EDOP Bruta	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	11,0			11,0	10,8
Motor elétrico	x	0,2	20	18	0,2	0,2
PWB	x	392,6	3	1	392,6	130,9
Tela	x	17,6	9	7	17,6	13,7
Heater	0	0,0	100	98	0	0,0
Plastic parts	x	0,5	100	98	0,5	0,5
Metal parts	x	1,5	100	98	1,5	1,4
Bateria	x	1,7	2	0	0	0,0
Cabo	x	8,6	3	1	8,6	2,9
Transporte	x	47,7			47,7	46,8
Total		481,4			479,7	207,1

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	24
potencial energetico	0

Fonte: SEDOP-GRIMA



Por meio do programa SEDOP pode-se medir a quantidade de energia descartada por tratamento inadequado da família de produtos devido à obsolescência física programada. Os dados gerados pelo programa permitem ver que, quando o produto alcança o tempo projetado para quebra pelo projetista, o produto ainda possui módulos funcionais que contêm energia aproveitável.

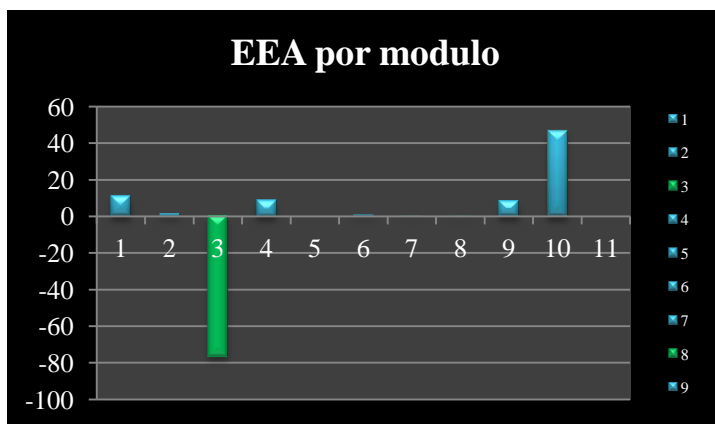
Quando se aumenta o tempo de vida do produto para 43 meses, isso é, três anos e meio de uso, ao invés de 24 meses como projetado, o valor do EDOP anualizado do produto, visto como total na tabela 5.1, terá um valor igual a zero. Esse é o ponto em que a energia dos módulos cujos valores de tempo de vida terão ultrapassado a projeção de uso, transformando a sua energia embutida anualizada em negativa, somado com aqueles que ainda têm um aporte energético positivo na equação se equivalem numericamente. Pode-se inferir que, neste ponto, o produto alcança o estado de descarte energético zero.

Tabela 5.1. EEA por módulos numerados no mes 43 de uso

Modulo	0/x	EDOP ANUALIZADA
Montagem	0	10,6
Motor electrico	x	0,2
PWB	x	-66,7
Tela	x	10,7
Heater	0	0,0
Comp. plásticos	x	0,5
Comp. metalicos	x	1,4
Bateria	x	-1,3
Cabo	x	-1,5
Transporte	x	46,0
Total		0,0

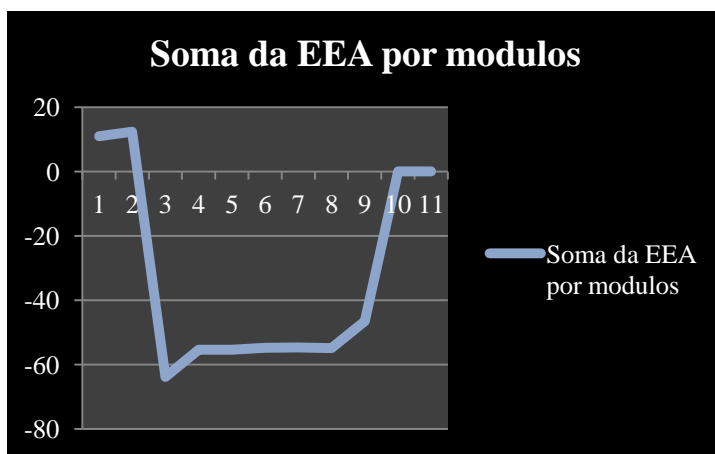
Fonte. SEDOP-GRIMA

Figura 5.3 Valores da EEA por módulos para o mês 43



Fonte Elaborado pelo autor

Figura 5.4 .Soma dos EEA por módulos no mês 43.



Fonte. Elaborado pelo autor.

Na figura 5.3 pode-se observar em verde os valores negativos de EEA dos módulos numerados na tabela 5.1, que ultrapassaram o tempo projetado de uso. Considera-se que estes valores são uma poupança energética, já que adia a aquisição de um novo módulo para se substituir no produto. Também em azul são mostrados os módulos que ainda possuem valores positivos da EEA e, no ponto 11 do gráfico (que corresponde ao total), o resultado final da soma é igual a zero. Esse resultado pode ser visto na figura 5.4. Infere-se que, a partir desse ponto, já se atinge o equilíbrio energético que foi investido no produto, e é a partir desse ponto que o produto não está mais descartando energia dada a obsolescência. Não se pode definir como um produto renovável, mas a energia que se economiza a partir do momento de equilíbrio é a energia que não está sendo gasta na substituição do produto por outro novo, já que está indo além do ponto de conservação do sistema.

## 5.2. ENERGIA DESCARTADA POR OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA NÃO FÍSICA

O programa computacional também apresenta uma segunda variável, que contribui para uma análise do que ocorre ao longo do tempo de uso projetado pelo fabricante. Neste caso, o tempo de vida da família de produtos analisada é dois anos (módulo bateria), que é considerado o tempo mínimo de vida esperado. Ao distribuir a energia consumida na fabricação do produto (481,4 MJ) nos dois anos de vida, ou 24 meses, a energia embutida anualizada será igual a 240,7 MJ/ano ou 20 MJ/mês, conforme mostrado na figura 5.2 (quadro inferior).

Tendo em conta que existem outros tipos de obsolescência além da física, como as obsolescências do tipo estilo e tecnológica, é possível que o produto se torne obsoleto antes de alcançar o tempo mínimo de uso esperado, conforme listado abaixo:

- Se o sistema operacional do produto não puder ser atualizado, e o produto permanece com versões anteriores durante os primeiros 24 meses de uso;
- Se os softwares requerem suporte de memória além dos instalados no equipamento (por exemplo, as memórias dos sistemas DRAM aumentam de capacidade a cada 18 meses);
- Se a capacidade do dispositivo de vídeo não suporta os novos aplicativos;

- O aparecimento de novos acessórios (*gadgets*) como, por exemplo, o GPS, os quais se tornam importantes e necessários para o usuário;
- A possibilidade de atualização (*upgrade*) no modelo, que resulta no acréscimo dos atributos primários do produto.

Nesses casos, o usuário pode decidir que o produto já não cumpre com os requerimentos básicos necessários, decidindo por descartar o aparelho antes de ter alcançado o tempo mínimo de uso, segundo o limite físico de vida. É aí que o potencial energético representa a distribuição da energia no tempo em que o produto vem sendo usado, dada a energia embutida anualizada. Como foi visto no capítulo 3, a variável muda permanentemente em cada dia de uso, considerando que quanto mais tempo o produto estiver em uso, maior será o aproveitamento, e se for descartado antecipadamente, ele será menos sustentável.

Figura 5.5 Comparativo do potencial energético para os quatro estágios de tempo de uso

(a)

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	1
potencial energético	461,3

(b)

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	12
potencial energético	240,7

(c)

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	23
potencial energetico	20,06

(d)

Life span / anos	2
Energia total	481,4
Energia /mês	20,06
tempo de uso /mes	25
potencial energético	-20,06

Fonte: elaborado pelo autor

Na figura 5,5 são mostrados quatro estágios da vida útil do produto analisado neste trabalho. O usuário do programa pode alterar o tempo de uso do aparelho, mantendo as outras variáveis, e o resultado dessa variação é a EEA restante (chamada potencial energético na ferramenta), correspondente ao tempo de uso que falta para alcançar o *lifespan* projetado do produto naquele momento. Caso este valor for negativo, significa que o produto já ultrapassou este tempo.

Faltando um mês para alcançar o limite do tempo de vida projetado, o produto terá ainda um potencial energético de 20,06 MJ. Quando ultrapassam os 24 meses de uso (figura 5.5 d), o valor será negativo, que corresponde à quantidade de energia que está sendo salva. Porém, segundo visto no item 5.1, essa energia salva será considerada a partir da perspectiva de obsolescência física. No mês 25 o valor será negativo (-20,06 MJ), o que significa que, segundo este tipo de obsolescência, por cada 24 equipamentos que ultrapassarem um mês o tempo de uso, estará sendo salva a energia correspondente a um produto completo.

A consideração do tempo como variável determinante na análise da sustentabilidade dos produtos permite sair do ponto de vista atemporal das propriedades do equipamento, definidas no momento da compra. Assim, proporciona-se uma separação do conceito de descarte como a consideração do *Cradle to Grave* para tornar um produto mais ou menos sustentável. Segundo o processo dos 4R, pode-se reintegrar materiais, peças e produtos potenciados na cadeia de produção, ao invés de descartá-los nos aterros. Porém, segundo mostrado anteriormente, na utilização adequada do produto, conhecendo o tempo de vida para o qual foi projetado, o usuário pode efetuar um uso de maior aproveitamento energético. Os dados obtidos neste trabalho mostram que, mesmo recuperando os materiais que compõem o equipamento, descartá-lo um mês antes do tempo de vida projetado resultará no desperdício de energia acima da que pode ser economizada mediante os materiais.



## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 6.1. CONCLUSÕES

Com base neste trabalho de pesquisa, que incluiu o desenvolvimento de uma planilha eletrônica e a análise de resultados após simular os dados correspondentes à família de produtos escolhidos, que foram *smartphones*, algumas considerações e conclusões são feitas.

#### 6.1.1 A respeito aos objetivos

- As metodologias de eco auditoria e LCA existentes permitem quantificar a energia embutida em um produto, tanto no portão antes de ser entregue ao usuário, como quando descartado por ter chegado ao fim da vida útil. Cabe ao fabricante a realização de destas medições de uma maneira consciente, buscando possíveis melhorias.
- Ao combinar as ferramentas de eco auditoria às ferramentas de obsolescência desenvolvidas para a construção civil, pode-se calcular a energia descartada inadequadamente, por substituição antecipada, comparado ao projetado pelo fabricante.
- A existência de softwares comerciais de LCA como o GaBI, SIMAPRO e outros, facilita a obtenção de resultados energéticos e de fluxos de entrada e saída ao sistema *cradle to grave* (ou *cradle to cradle*), mas requerem investimento econômico por parte da empresa que, dependendo do porte, pode não estar em condições de assumir este gasto.
- Mediante a utilização da informação acadêmica disponível, pode-se desenvolver um simulador de uso livre, que permita obter resultados confiáveis, podendo ajudar na tomada de decisões visando o melhoramento do produto.
- O simulador desenvolvido nesta dissertação (SEDOP) permite atingir o objetivo proposto, na medição das energias embutidas nos produtos escolhidos, assim como a sua relação com o tempo de uso, permitindo calcular a energia descartada por tratamento inadequado.

- Durante o desenvolvimento desta dissertação foram analisados e avaliados os diversos tipos de fatores de variação, presentes na metodologia, os quais permitem tomar múltiplas decisões referentes ao material, processos, transportes, tempo de uso, descarte, reintegração de peças, e reciclagem na cadeia de produção.

### 6.1.2 Conclusões gerais

O uso da ferramenta SEDOP na projeção do produto, permite além da quantificação da energia consumida na fabricação dos produtos, facilitar a tomada de decisões para modificar transportes internos, buffers, transportes primários e secundários para diminuir a energia consumida em cada produto, tanto com uma perspectiva sustentável quanto de benefício econômico para a empresa, que é o caso em que, por exemplo, diminui-se o consumo energético no chão de fábrica.

O método proposto permite, por meio da comparação de vários produtos da mesma família, definir os atributos primários requeridos para satisfazer o usuário do produto, estabelecendo características físicas básicas necessárias, com o fim de realizar a lista de materiais (BOM) geral, o que permite analisar se um produto individual está sujeito a modificações para melhorias. Este é o caso, por exemplo, do material do display manufaturado em *Gorila Glass*, utilizado por dois equipamentos analisados, gerando um valor agregado para o usuário e também para o tempo de vida do módulo, contribuindo na sustentabilidade do produto.

O uso adequado do produto, desligando os aplicativos em simultâneo quando não estejam sendo utilizados, prolonga o tempo de vida útil do equipamento, uma vez que diminui a temperatura de funcionamento, evitando um maior desgaste dos materiais que o compõem.

A obsolescência programada limita as possibilidades de trocar peças ou módulos nos equipamentos, tornando o produto uma unidade funcional fechada, sujeita ao tempo de vida do componente mais fraco, que quando quebrar obriga o descarte total.

A integração da variável tempo nas análises de uso de produto transfere parte da responsabilidade ao usuário, requerendo por parte dele uma utilização responsável e manutenção adequada das características do produto, de maneira a prolongar a vida útil o máximo possível.



A quantidade de energia recuperável nos materiais dos produtos analisados nesta dissertação, considerando a recuperação total dos metais ouro, cobre e alumínio, nos semicondutores, terá um valor inferior a 11MJ, valor significativamente inferior ao potencial energético recuperável, correspondente a um mês de uso. Isso significa que, prolongando-se a vida útil do produto um mês além do projetado, incide-se positivamente na energia economizada, mais que na recuperação dos materiais na cadeia produtiva.

Encontrou-se que, depois de aplicar-se o método proposto inicialmente para calcular o descarte de energia, analisando os resultados, quando se alcançou o tempo projetado pelo fabricante, o balanço energético resultou positivo no produto, apresentado a possibilidade de realizar novos cálculos. Encontrou-se que só depois de 43 meses de uso o equipamento alcançaria o equilíbrio energético, considerando que a soma dos módulos que ainda não tinham ultrapassado o *lifespan* com os que já tinham ultrapassado-o, só ao longo do tempo de uso, convertia-se em zero.

Durante o desenvolvimento desta dissertação houve a dificuldade em identificar os materiais que compõem as peças mecânicas e, portanto, foi necessário procurar em informes fornecidos por algumas empresas fabricantes.

Ainda não sendo muitos os trabalhos para calcular a energia embutida na fabricação de semicondutores, os dados disponíveis variam significativamente, tendo sido necessário escolher os mais apropriados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Considera-se uma limitação do projeto a falta de informações precisas sobre os processos na fabricação de alguns módulos, o que levou a inserir dados padrões, fornecidos pelas empresas produtoras (ver Anexos).

## 6.2. TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho percebeu-se que, quando se quantifica a energia recuperada pelo retorno de materiais e peças ao sistema *cradle to grave* (*cradle to cradle*), não se considera o transporte do produto desde o cliente para o lugar de disposição final, seja para reciclagem, reuso, ou descarte em aterro. Recomenda-se analisar o tipo de transporte, distancia percorrida, mesmo que os processos requeridos para desmontagem dos equipamentos e recuperação do material, por parte do recuperador.

Quando se efetua uma análise dimensional da variável EEA, nota-se que o tempo (anos) pode ser também em segundos, e a unidade de MJ de energia permite expressar a variável EEA em Watts. Isto proporciona a padronização das análises e comparações, sugerindo uma análise mais profunda desta variável.

Recomenda-se no futuro melhorar o programa computacional desenvolvido, tornando-o mais amigável para o usuário, para que ele possa ser alimentado com dados dos usuários, gerando uma base de dados própria e disponível para uso *online*.

Aplicação da metodologia em estudos de caso para avaliar, fortalecer ou desvirtuar as hipóteses propostas nesta dissertação ao respeito das potenciais melhorias conseguidas na variação de materiais usados na manufatura.

Mediante a aplicação da metodologia em chão de fábrica pode-se criar uma base de dados reais, da energia investida nos processos de manufatura de componentes, que aumentara o valor agregado da ferramenta permitindo seu uso em outros estudos do grupo de pesquisa.

Recomenda-se a realização de um comparativo entre os resultados obtidos pela metodologia e dois software comerciais, com a intenção de definir os valores de desvio dos três resultados obtidos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamson, G. (2005). *Industrial Strength Design: How Brooks Stevens Shaped Your World*. MIT press.

Aguila, A. (2000). *Procedimiento de evaluacion de riesgos ergonomicos y psicosociales*. Almeria: Universidad de Almeria.

Apple. (2014). *iPhone 5 features*. Acesso em 30 de 01 de 2014, disponível em <https://www.apple.com/iphone-5c/features/>

Ashby, M. (2009). *Materials and the environment: eco-informed material choice*. canada: Elsevier Science & Technology.

Barnes, M. (2003). *Practical variable speed drives and power electronics*. Newnes: Elsevier.

Bonahom, C. (10 de 09 de 2012). Economic recovery, lessons from post-world war II period. *Mercatus center* .

Craig, L. (2009). *Hedging future uncertainty, A Framework for Obsolescence Prediction, Proactive Mitigation and Management*. massachusetts: Amherst.

Daniel, C. (2008). Materials and processing for lithium-ion batteries. *Jornal of minerals, metals and materials* , 43-48.

Dimitrijevic, M. (2011). *Lithium Ion Battery Assembly Challenges*. Acesso em 03 de 02 de 2014, disponível em ECN: <http://www.iccnexergy.com/articles/1244/lithium-ion-battery-assembly-challenges/>

Donough, W. M. (2002). *Cradle to cradle* . new york: Douglas &McIntyre.

Gutowski, N., & Garetti, M. (2010). A tool to estimate materials and manufacturing energy for a product. *MIT mechanical engineering department* .

Hernandez, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). In: P. & Hernandez, *Energy and Buildings* (pp. 815-821).

Hewlett Packard. (2001). *hp pavilion f50/f70 LCD Monitor*. Cupertino.

IDC. (2013). *Strong Demand for Smartphones and Heated Vendor Competition Characterize the Worldwide Mobile Phone Market at the End of 2012*. Framingham.

Jiao, J. (2000). Generic bill of materials and operations for high variety production management. *Concurrent Engineering* , 297-321.

Jones, A. (2007). *the industrial ecology of iron casting industry*. cambridge: Dept of mechanical engineering, MIT.

Krishnan, S. B. (2008). A hybrid life cycle inventory of nano-scale semiconductor manufacturing. *Environ Sci and Technol* , 3069-3075.

LAKATOS, E. M., & MARCONI, M. (1993). *Fundamentos de metodológica científica*. São Paulo: Atlas.

London, B. (1932). *Ending the Depression throught planned obsolescence*.

M.Pecht, R. (2002). Life Cycle Forecasting, Mitigation Assessment and Obsolescence Strategies. *CALCE EPSC* .

Maycroft, N. (2005). *Consumption, planned obsolescence and waste*. USA: Lincon school of art and design.

- Mentzer, j. T. (10 de 5 de 2011). Defining supply chain managment. *journal of bussiness logistics* , pp. 1-25.
- Meyer, M. (1997). The power of product plataforms. *The Free Press* .
- Murphy, C. (2001). Electronics. *WTEC Panel roport on: enviromental benign manufacturing (EBM)* (pp. 81,93). Baltimore: International tecnology reserarch institute world technology.
- Musallam, I. (2008). Real-Time Life Expectancy Estimation in Power Modules. *Electronics System-Integration Technology Conference* (pp. 231-236). Nottingham, United Kingdom: ESTC.
- Muskat, d. S. (2005). *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. Florianopolis: UFSC.
- Nokia, c. (2005). *Integrated product policy pilot*. espoo, finland.
- Palmer, A. (1999). Ecological footprints; evaluating sustainability. *enviromental geosciences* , 200-2004.
- Rassweiler, A. (2010). *IHS Technology*. Acesso em 02 de 2014, disponível em <https://technology.ihs.com/>
- Rice, Y. s. (1986). the search for quality: the case of planned obsolescence. *Microelectronics Reliability* , 75-85.
- Seiders, D. A. (2007). Study of Life expectancy of Home components. *National Association of Home Builders* .
- Slade.G. (2006). *Made to break, Technology and obsolescence in america*. cambridge: Harvard university press.
- Society ofAutomotive Engineers, S. (2013). *guidelines for analysis of powertrain embeded Co<sup>2</sup> for the sustainability event*.

UL. (2011). The Life Cycle of Materials in Mobile Phones. *UL white paper* .

Williams, E. d. (2002). The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY* , 5504-5510.

## 8. ANEXOS

## BOM: IPHONE 4

Function	Manufacturer	Part Number	Description	Cost
Memory				\$40.40
Includes	Samsung	K9HDG08U5A-LCB0	Flash - NAND, 16GB, MLC	
	Samsung	K4265J1PB-50-F	SDRAM - Mobile DDR, 4Gb, PoP (Assumption - Two Dies, To Be Verified)	
	Toshiba		MCP (To Be Verified)	
Display / Touch Screen				\$37.80
Includes	Display Module - 3.5" Diagonal, 16M Color TFT, 960 x 640 Pixels			
	Touchscreen Assembly - Aluminosilicate Glass, Painted, w/ Integral Flex PCB, & Board to Board Connector			
Mechanical / Electro-Mechanical				\$19.97
Includes	Includes - PCBs, Enclosure Plastics, Glass & Metals, Etc.			
Baseband / RF / PA (Including GPS)				\$16.41
Includes	Qualcomm	MDM6600	Baseband / RF Transceiver - Dual-Mode, CDMA2000 1xEVDO/HSPA+	
	Skyworks	SKY77711-4	PAM - CDMA 1900	
	Skyworks	SKY77710-4	PAM - CDMA 800	
Camera				\$13.70
Includes	Camera Module Value Line Item - 5MP CMOS, 1/3.2" Format, OmniVision BSI Image Sensor (Assumed), Auto Focus Lens			
	Camera Module Value Line Item - VGA (To be Verified) CMOS, 1/10" Format, Fixed Lens			
Bluetooth / WLAN				\$8.27
Includes	Murata (Module)		Murata Module containing Broadcom BCM4329 WLAN/BT/FM Chip	
Applications Processor				\$8.46
Includes	Samsung	APL0396	"A4" Applications Processor - ARM Core, 45nm,	
User Interface				\$8.18
Includes	STMicroelectronics	L3G4200D	Gyroscope - 3-Axis, Digital	
	Cirrus Logic	CS42L81	Audio Codec - Ultra Low Power, Stereo, with Headphone	
	Texas Instruments	F761586C	Touchscreen Controller	
	AKM Semiconductor	AKM8975B	Electronic Compass - 3-Axis, with Built-In ADC & 8-Bit	
	STMicroelectronics	LIS331DLH	Accelerometer - MEMS 3-Axis, ±2g/±4g/±8g, Digital Output	
User Interface				\$6.50
Includes	Qualcomm	PM8028	Power Management IC	
	Dialog Semiconductor	D1815A	Power Management IC	
Also includes assorted analog ICs, discrete semiconductors (diodes, transistors) and passive components in				
Battery				\$6.00
Includes	Amperex (To Be Verified)		Battery Cell - Li-Ion Polymer, 3.7V, 1420mAh	
Box Contents				\$5.66
Includes	USB Charger, Cable, Handsfree Accessory, Etc.			
Total BOM (Materials Only)				\$171.35
Estimated Manufacturing Costs				\$7.10
Total BOM (Materials Only)				\$178.45

FONTE:IHS Isupply

## BOM SUMSUNG GALAXY 3

Function	Manufacturer	Part Number	Description	Cost
<b>Display &amp; Touch screen</b>				<b>\$39.25</b>
<i>Includes</i>	Samsung Mobile Display	AMS347FF01-0	Display Module - 3.5" Diagonal, 16.7M Color AMOLED, 640 x 360 Pixels	
	Synaptics		Touch screen Assembly / Display Window - 3.5" Capacitive, Contains Synaptics T1021A Touch screen Controller, w/ Flex PCB & Board-to-Board Connector	
<b>Memory</b>				<b>\$37.12</b>
<i>Includes</i>	Toshiba Semiconductor	THGBM1G7D4FBA13	Flash - eMMC NAND, 16GB, MLC	
	Samsung Semiconductor	K5W4G2GACA-AL54	MCP - 4Gb OneNAND Flash + 2Gb Mobile DDR, PoP	
<b>Cameras</b>				<b>\$31.08</b>
<i>Includes</i>			Primary Camera Module - 12MP, CMOS, 1/1.83" Format, Auto Focus Lens w/ Carl Zeiss Optics	
			Secondary Camera Module - VGA, CMOS, Fixed Focus Lens	
			Xenon Flash Assembly	
<b>Apps / Media Processing / Baseband</b>				<b>\$22.00</b>
<i>Includes</i>	Texas Instruments	NMP #4377520	DBB - Digital Baseband Processor, PoP - "RAPU", "YAMA"	
	Broadcom	BCM2727IFBG	Mobile Multimedia Processor - HD 720p, H.264 Encoder & Decoder, HDMI 1.3a w/ HDCP	
	Texas Instruments	NMP #4376057	ABB - Analog Baseband / Power Management	
<b>Mechanical / Electro-Mechanical</b>				<b>\$21.30</b>
<i>Includes</i>			PCBs, Metals, Plastics, Connectors, Etc	
<b>BT / FM / GPS / WLAN</b>				<b>\$9.91</b>
<i>Includes</i>	Murata		Bluetooth / WLAN Module Value Line Item - WLAN IEEE802.11b/g/n, Bluetooth V3.0 (Contains Texas Instruments WL1271A)	
	Texas Instruments	GPS5350	GPS - Single-Chip, A-GPS, NavLink 4.0	
<b>RF Transceiver / Power Amplifier</b>				<b>\$7.44</b>
<i>Includes</i>	ST-Ericsson	NMP #4380044	RF Transceiver	
	Renesas		Power Amplifier	
	Epcos	D1053	FEM (Front End Module)	
<b>Box Contents</b>				<b>\$5.85</b>
<i>Includes</i>			Boxes, Literature, Charger, cable, headset	
<b>User Interface</b>				<b>\$4.89</b>
<i>Includes</i>	AKM Semiconductor	AK8974	Electronic Compass	
	ST Microelectronics	LIS302DL	Accelerometer - MEMS 3-Axis, $\pm 2g/\pm 8g$ , Digital Output	
	Texas Instruments	TPA6140A2YFFR	Audio Power Amplifier - Stereo, Class-G, w/ I2C Volume Control	
<b>Power Management</b>				<b>\$4.68</b>
<i>Includes</i>	ST Microelectronics	STM6520AQRDG9F	Reset IC - Dual Push-Button, w/ Push-Button Controlled Output Delay	
	ST-Ericsson		Power Management IC - for RF	
<b>Battery</b>				<b>\$3.95</b>
<i>Includes</i>		BL-4D	Battery - Li-Ion, 3.7V, 1200mAh	
<b>Total BOM (Materials Only)</b>				<b>\$187.47</b>
<b>Estimated Manufacturing Costs - Made in Finland</b>				<b>\$9.50</b>
<b>Total BOM</b>				<b>\$196.97</b>

FONTE:IHS Isupply



## BOM NOKIA LUMIA

Manufacturer Part Number	Description	Comment
Samsung Mobile Display AMS427GL18	Display / Touchscreen Module - 4.3" Diagonal, On-Cell Touch ClearBlack AMOLED, 16.7M Colors, 480x800 Pixels, w/ Corning Gorilla Glass Window	Samsung Super AMOLED Plus Technology, ClearBlack polarized filter, Corning Gorilla Glass Cover
Qualcomm MDM9200	Baseband Processor - Multi-Mode, Multi-Band, GSM/EDGE/HSPA/LTE, Integrated QDSP6 600MHz & ARM926 256MHz Processors, 45nm	Same baseband seen in the Samsung Galaxy SII Skyrocket
Qualcomm APQ8055	Apps Processor - Single-Core 1.4GHz, PoP	Nokia is single core APQ8055 vs dual-core APQ8060 in Skyrocket. This seems to be part of Microsoft's strategy to create OS revisions that require less, rather than more processing power in order to keep BOM costs low, and support the lower-end of the smartphone spectrum.
	Primary Camera Module - 8MP, Auto Focus Lens, w/ Carl Zeiss Optics	Assumed for now (preliminary analysis) that image sensor is BSI technology
Micron Technology MTFC16GJSEC-IT	Flash - NAND, 16GB, MLC	Conventional flash memory as applied by many handset OEMs
Qualcomm RTR8615L	RF Transceiver - Multi-Mode, Multi-Band	Qualcomm nearly always supplies supporting components such as this, as part of a total solution to handset OEMs
Elpida B4064B2PD-6D-F	SDRAM - Mobile DDR2, 4Gb, PoP	Note that Microsoft is trending towards lighter and lighter DRAM requirements to support their OS solution.
	PCB - FR4/RCF HDI, Lead-Free, Halogen-Free (for Main PCB)	
TDK BP-6EW	BT / WLAN Module - Contains Broadcom BCM4329EKUBG	BCM4329 is a slightly older solution from Broadcom - the BCM4330 is the latest (with Bluetooth V4.0) and is common with many newer designs. Using this older chip helps keep costs low.
	Battery - Li-Polymer, 3.7V, 1830mAh	Above average capacity - but likely result of LTE support
	Display / Touchscreen Housing - Die-Cast Aluminum, Machined, w/ Injection Molded Plastic Frame	
Qualcomm PM8058	Power Management IC	Qualcomm nearly always supplies supporting components such as this, as part of a total solution to handset OEMs. One of the power management chips powers the MDM9200 and the other the APQ8055.
	Enclosure, Main, Bottom - Injection Molded Polycarbonate, Painted, Printed	Though some had banded about the 'unibody' term which suggested this part is milled from a solid block of plastic - it is in fact injection mold with some routing and machining to create holes in the plastic body. Cheap.
Qualcomm PM8028	Power Management IC	Qualcomm nearly always supplies supporting components such as this, as part of a total solution to handset OEMs. One of the power management chips powers the MDM9200 and the other the APQ8055.
Micron Technology MT29F1G08ABBD4H4-IT:D	Flash - NAND, 1Gb, SLC	
ST Microelectronics L3G4200D	Gyroscope - 3-Axis, Digital	

FONTE:IHS Isupply

## BOM MOTOROLA RAZR.

Component	Manufacturer	Cost
microSD Memory Card - 16GB		\$35.00
Display Module		\$17.75
Touchscreen Overlay		\$17.50
Camera Module		\$14.25
Baseband Processor/ Radio Frequency Transceiver	Qualcomm	\$14.04
Applications Processor	Texas Instruments	\$12.90
Multichip Module: 4Gbit NAND Flash, Plus 2Gbit Mobile DDR	Toshiba	\$9.20
Bluetooth/WLAN/FM Transmitter/Receiver	Texas Instruments	\$6.50
Multichip Module: 1Gbit NAND Flash Plus 512Mbit Mobile	Numonyx	\$4.90
Lithium Ion Battery	Motorola	\$4.25
Other Costs		\$42.82
<b>Total Materials Cost</b>		<b>\$179.11</b>
<b>Manufacturing Cost</b>		<b>\$8.64</b>
<b>Grand Total</b>		<b>\$187.75</b>

FONTE:IHS Isupply

## BOM IPHONE 5

Manufacturer	Part Number	Description	Comment
		Display / Touchscreen Module - 4" Diagonal, Retina Display, w/ In-Cell Multi-Touch	Japan Display Inc, and LG Display are likely sources
Sandisk	SDMALBB4032G	Flash - NAND, 32GB, MLC	Hynix, Samsung, and Toshiba are other likely sources; Hynix is the supplier in A1429 (Verizon & Sprint version) we torn down
Samsung Semiconductor	APL0598	Apps Processor - PoP	New Apple A6 Processor
Qualcomm	MDM9615	Baseband Processor - Multi-Mode, Multi-Band, GSM/CDMA/EVDO RevB/LTE, w/ Eipida Mobile DDR	Was MDM9600 in the latest iPad
		Primary Camera Module - 8MP, BSI CMOS (TBD), Auto Focus Lens	
		Enclosure, Main, Center - Machined Aluminum Unibody	
Eipida	B8164B3PM-1D-F	SDRAM - Mobile DDR2, 1GB, PoP	Hynix, and Samsung are other likely sources
Murata		BT / WLAN Module - Contains BCM4334, BTv4.0, IEEE802.11 a/b/g/n	
Qualcomm	RTR8600	RF Transceiver - Multi-Band, GSM/EDGE/HSPA+/LTE, 65nm RF CMOS	Same RF transceiver in the latest iPad
Dialog Semiconductor		Power Management IC	PMIC for A6
Qualcomm	PM8018	Power Management IC	PMIC for MDM9615
Sony	US373291H	Battery - Li-Polymer, 3.8V, 1430mAh	ATL is another supplier in A1429 (Verizon & Sprint version) we torn down
		Secondary Camera Module - 1.2MP, BSI CMOS (TBD), Fixed Lens	
Broadcom	BCM5976	Touchscreen Controller	
Texas Instruments	CDPF3246	Touchscreen Controller (TBD)	
ST Microelectronics	L3G4200D	Gyroscope - 3-Axis, Digital	
Cirrus Logic	CS42L65	Audio Codec	This version is approximately 3 times the die size of the previous version in the 4S.
Avago	AFEM7814	PAM - w/ Duplexer	AFEM7813 in A1429 (Verizon & Sprint Version)
Skyworks	SKY77487-18	PAM	SKY77491-158 in A1429 (Verizon & Sprint Version)
Skyworks	SKY77352-15	PAM - Quad-Band GSM/EDGE	Same in A1429 (Verizon & Sprint Version)
NXP	CBTL1608	Interface IC - for Display	
Cirrus Logic	CS35L19	Audio Power Amplifier - w/ Signal Processing	
AKM Semiconductor	AK8963C	Electronic Compass - 3-Axis, w/ Built-In ADC & 14/18-Bit Selectable Digital Output	
Skyworks	SKY77729-4	PAM - LTE Band 17	Avago A5613 LTE Band 13 PAM in A1429 (Verizon & Sprint Version)
ST Microelectronics		Accelerometer	
Murata	SWUA127	FEM	SWUA147 in A1429 (Verizon & Sprint Version)
Skyworks	SKY70631	Antenna Switch Module	Same in A1429 (Verizon & Sprint Version)
RF Micro	RF1102	RF Switch	Same in A1429 (Verizon & Sprint Version)

FONTE:IHS Isupply